

PATENT COOPERATION TREATY

PCT

NOTIFICATION OF ELECTION

(PCT Rule 61.2)

From the INTERNATIONAL BUREAU

To:

United States Patent and Trademark
Office
(Box PCT)
Crystal Plaza 2
Washington, DC 20231
ETATS-UNIS D'AMERIQUE

in its capacity as elected Office

Date of mailing (day/month/year) 21 July 1998 (21.07.98)	
International application No. PCT/DE97/02908	Applicant's or agent's file reference IHP.095.PCT
International filing date (day/month/year) 08 December 1997 (08.12.97)	Priority date (day/month/year) 09 December 1996 (09.12.96)
Applicant LIPPERT, Gunther et al	

1. The designated Office is hereby notified of its election made:

☒ in the demand filed with the International Preliminary Examining Authority on:
01 July 1998 (01.07.98)

☐ in a notice effecting later election filed with the International Bureau on:

2. The election ☒ was

☐ was not

made before the expiration of 19 months from the priority date or, where Rule 32 applies, within the time limit under Rule 32.2(b).

<p>The International Bureau of WIPO 34, chemin des Colombettes 1211 Geneva 20, Switzerland</p> <p>Facsimile No.: (41-22) 740.14.35</p>	<p>Authorized officer Aino Metcalfe</p> <p>Telephone No.: (41-22) 338.83.38</p>
--	---

PATENT COOPERATION TREATY

PCT

NOTIFICATION CONCERNING
DOCUMENT TRANSMITTED

From the INTERNATIONAL BUREAU

To:

United States Patent and Trademark
Office
(Box PCT)
Crystal Plaza 2
Washington, DC 20231
ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE

in its capacity as elected Office

Date of mailing (day/month/year)
10 June 1999 (10.06.99)International application No.
PCT/DE97/02908International filing date (day/month/year)
08 December 1997 (08.12.97)

Applicant

INSTITUT FÜR HALBLEITERPHYSIK FRANKFURT (ODER) GMBH et al

The International Bureau transmits herewith the following documents and number thereof:

_____ copy of the English translation of the international preliminary examination report (Article 36(3)(a))

The International Bureau of WIPO
34, chemin des Colombettes
1211 Geneva 20, Switzerland

Facsimile No.: (41-22) 740.14.35

Authorized officer

Diana Nissen

Telephone No.: (41-22) 338.83.38

VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT
AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS

PCT

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

09/319699

(Artikel 18 sowie Regeln 43 und 44 PCT)

Aktenzeichen des Anmelders oder Anwalts IHP.095.PCT	WEITERES VORGEHEN siehe Mitteilung über die Übermittlung des internationalen Recherchenberichts (Formblatt PCT/ISA/220) sowie, soweit zutreffend, nachstehender Punkt 5	
Internationales Aktenzeichen PCT/DE 97/ 02908	Internationales Anmeldedatum (Tag/Monat/Jahr) 08/12/1997	(Frühestes) Prioritätsdatum (Tag/Monat/Jahr) 09/12/1996
Anmelder INSTITUT FÜR HALBLEITERPHYSIK FRANKFURT... et al.		

Dieser internationale Recherchenbericht wurde von der Internationalen Recherchenbehörde erstellt und wird dem Anmelder gemäß Artikel 18 übermittelt. Eine Kopie wird dem Internationalen Büro übermittelt.

Dieser internationale Recherchenbericht umfaßt insgesamt 4 Blätter.

☒ Darüber hinaus liegt ihm jeweils eine Kopie der in diesem Bericht genannten Unterlagen zum Stand der Technik bei.

1. ☐ Bestimmte Ansprüche haben sich als nichtrecherchierbar erwiesen (siehe Feld I).
2. ☐ Mangelnde Einheitlichkeit der Erfindung (siehe Feld II).
3. ☐ In der internationalen Anmeldung ist ein Protokoll einer Nucleotid- und/oder Aminosäuresequenz offenbart; die internationale Recherche wurde auf der Grundlage des Sequenzprotokolls durchgeführt,
 - ☐ das zusammen mit der internationalen Anmeldung eingereicht wurde.
 - ☐ das vom Anmelder getrennt von der internationalen Anmeldung vorgelegt wurde,
 - ☐ dem jedoch keine Erklärung beigelegt war, daß der Inhalt des Protokolls nicht über den Offenbarungsgehalt der internationalen Anmeldung in der eingereichten Fassung hinausgeht.
 - ☐ das von der Internationalen Recherchenbehörde in die ordnungsgemäße Form übertragen wurde.
4. Hinsichtlich der Bezeichnung der Erfindung
 - ☒ wird der vom Anmelder eingereichte Wortlaut genehmigt.
 - ☐ wurde der Wortlaut von der Behörde wie folgt festgesetzt.
5. Hinsichtlich der Zusammenfassung
 - ☐ wird der vom Anmelder eingereichte Wortlaut genehmigt.
 - ☒ wurde der Wortlaut nach Regel 38.2b) in der Feld III angegebenen Fassung von dieser Behörde festgesetzt. Der Anmelder kann der Internationalen Recherchenbehörde innerhalb eines Monats nach dem Datum der Absendung dieses internationalen Recherchenberichts eine Stellungnahme vorlegen.
6. Folgende Abbildung der Zeichnungen ist mit der Zusammenfassung zu veröffentlichen:
Abb. Nr. 3
 - ☐ wie vom Anmelder vorgeschlagen
 - ☒ weil der Anmelder selbst keine Abbildung vorgeschlagen hat.
 - ☐ weil diese Abbildung die Erfindung besser kennzeichnet.☐ keine der Abb.

Feld III

WORTLAUT DER ZUSAMMENFASSUNG (Fortsetzung von Punkt 5 auf Blatt 1)

Auf eine reine Siliziumoberfläche findet eine einkristalline Abscheidung entsprechend dem gewünschten Transistorprofil statt. Der Silizium-Germanium-Heterobipolartransistor enthält ein zusätzliches, elektrisch nicht aktives Material. Hergestellt wird die Halbleiteranordnung von Silizium-Germanium-Heterobipolartransistoren mittels Epitaxieverfahren. Ein in die Epitaxieschicht eingebrachtes, elektrisch nicht aktives Material bindet Herstellungsdefekte und verringert die Diffusion des Dotanden. Damit lassen sich hochfrequenztaugliche Transistoren auf zwei Wegen herstellen: Die Dotierungsdosis des Basisgebiets wird erhöht und/oder die Basisbreite wird verringert.

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 IPK 6 H01L29/737

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 6 H01L

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	LANZEROTTI L D ET AL: "SI/SI1-X-YGEXCY/SI HETEROJUNCTION BIPOLAR TRANSISTORS" IEEE ELECTRON DEVICE LETTERS, Bd. 17, Nr. 7, 1. Juli 1996, Seiten 334-337, XP000595110 siehe das ganze Dokument ---	1-3,6, 9-16
A	DE 38 23 249 A (HITACHI LTD) 19. Januar 1989 siehe das ganze Dokument ---	1-16
A	US 5 557 118 A (HASHIMOTO) 17. September 1996 siehe das ganze Dokument ---	1
-/--		



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

16. April 1998

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

04/05/1998

 Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
 Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Baillet, B

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 5 177 025 A (TURNER ET AL.) 5. Januar 1993 siehe Spalte 5, Zeile 35 - Spalte 6, Zeile 9 ---	1,4
P,A	LANZEROTTI L D ET AL: "Suppression of boron outdiffusion in SiGe HBTs by carbon incorporation" INTERNATIONAL ELECTRON DEVICES MEETING. TECHNICAL DIGEST (CAT. NO.96CH35961), INTERNATIONAL ELECTRON DEVICES MEETING. TECHNICAL DIGEST, SAN FRANCISCO, CA, USA, 8-11 DEC. 1996, ISBN 0-7803-3393-4, 1996, NEW YORK, NY, USA, IEEE, USA, Seiten 249-252, XP002062275 -----	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/DE 97/02908

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 3823249 A	19-01-89	JP 1015912 A	19-01-89
		JP 2569058 B	08-01-97
		US 4885614 A	05-12-89
<hr/>			
US 5557118 A	17-09-96	JP 2611640 B	21-05-97
		JP 7176541 A	14-07-95
<hr/>			
US 5177025 A	05-01-93	EP 0552561 A	28-07-93
		JP 5347313 A	27-12-93
<hr/>			

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

09/319699

International Application No

PCT/DE 97/02908

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 6 H01L29/737

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 6 H01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	LANZEROTTI L D ET AL: "SI/SII-X-YGEXCY/SI HETEROJUNCTION BIPOLAR TRANSISTORS" IEEE ELECTRON DEVICE LETTERS, vol. 17, no. 7, 1 July 1996, pages 334-337, XP000595110 see the whole document ---	1-3,6, 9-16
A	DE 38 23 249 A (HITACHI LTD) 19 January 1989 see the whole document ---	1-16
A	US 5 557 118 A (HASHIMOTO) 17 September 1996 see the whole document ---	1
A	US 5 177 025 A (TURNER ET AL.) 5 January 1993 see column 5, line 35 - column 6, line 9 ---	1,4
-/--		

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

16 April 1998

Date of mailing of the international search report

04/05/1998

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Baillet, B

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/DE 97/02908

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
P, A	<p>LANZEROTTI L D ET AL: "Suppression of boron outdiffusion in SiGe HBTs by carbon incorporation" INTERNATIONAL ELECTRON DEVICES MEETING. TECHNICAL DIGEST (CAT. NO.96CH35961), INTERNATIONAL ELECTRON DEVICES MEETING. TECHNICAL DIGEST, SAN FRANCISCO, CA, USA, 8-11 DEC. 1996, ISBN 0-7803-3393-4, 1996, NEW YORK, NY, USA, IEEE, USA, pages 249-252, XP002062275</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/DE 97/02908

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 3823249 A	19-01-89	JP 1015912 A	19-01-89
		JP 2569058 B	08-01-97
		US 4885614 A	05-12-89

US 5557118 A	17-09-96	JP 2611640 B	21-05-97
		JP 7176541 A	14-07-95

US 5177025 A	05-01-93	EP 0552561 A	28-07-93
		JP 5347313 A	27-12-93

09/319699 4^T

**VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT
AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS**

PCT

INTERNATIONALER VORLÄUFIGER PRÜFUNGSBERICHT

(Artikel 36 und Regel 70 PCT)


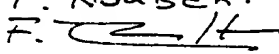
REC'D 10 MAR 1999

WIPO PCT

Aktenzeichen des Anmelders oder Anwalts IHP.095.PCT	WEITERES VORGEHEN siehe Mitteilung über die Übersendung des internationalen vorläufigen Prüfungsberichts (Formblatt PCT/IPEA/416)	
Internationales Aktenzeichen PCT/DE 97/ 02908	Internationales Anmeldedatum (Tag/Monat/Jahr) 08/12/1997	Prioritätsdatum (Tag/Monat/Jahr) 09/12/1996
Internationale Patentklassifikation (IPK) oder nationale Klassifikation und IPK H01L29/737		
Anmelder INSTITUT FÜR HALBLEITERPHYSIK FRANKFURT... et al.		

1. Der internationale vorläufige Prüfungsbericht wurde von der mit der internationalen vorläufigen Prüfung beauftragten Behörde erstellt und wird dem Anmelder gemäß Artikel 36 übermittelt.
2. Dieser **BERICHT** umfaßt insgesamt 4 Blätter einschließlich dieses Deckblatts.
- ☒ Außerdem liegen dem Bericht **ANLAGEN** bei; dabei handelt es sich um Blätter mit Beschreibungen, Ansprüchen und/oder Zeichnungen, die geändert wurden und diesem Bericht zugrunde liegen, und/oder Blätter mit vor dieser Behörde vorgenommenen Berichtigungen (siehe Regel 70.16 und Abschnitt 607 der Verwaltungsvorschriften zum PCT)
- Diese Anlagen umfassen insgesamt 14 Blätter.

3. Dieser Bericht enthält Angaben und die entsprechenden Seiten zu folgenden Punkten:
- I ☒ Grundlage des Berichts
 - II ☐ Priorität
 - III ☐ Keine Erstellung eines Gutachtens über Neuheit, erfinderische Tätigkeit und gewerbliche Anwendbarkeit
 - IV ☐ Mangelnde Einheitlichkeit der Erfindung
 - V ☒ Begründete Feststellung nach Artikel 35(2) hinsichtlich der Neuheit, der erfinderischen Tätigkeit und der gewerblichen Anwendbarkeit; Unterlagen und Erklärungen zur Stützung dieser Feststellung
 - VI ☐ Bestimmte angeführte Unterlagen
 - VII ☐ Bestimmte Mängel der internationalen Anmeldung
 - VIII ☐ Bestimmte Bemerkungen zur internationalen Anmeldung

Datum der Einreichung des Antrags 01/07/1998	Datum der Fertigstellung dieses Berichts 08.03.99
Name und Postanschrift der mit der internationalen vorläufigen Prüfung beauftragten Behörde  Europäisches Patentamt D-80298 München Tel. (+49-89) 2399-0, Tx: 523656 epmu d Fax: (+49-89) 2399-4465	Bevollmächtigter Bediensteter F. ROUBERT  Tel. 2711

I. Grundlage des Berichts

1. Dieser Bericht wurde erstellt auf der Grundlage (Ersatzblätter, die dem Anmeldeamt auf eine Aufforderung nach Artikel 14 hin vorgelegt wurden, gelten im Rahmen dieses Berichts als "ursprünglich eingereicht" und sind ihm nicht beigefügt, weil sie keine Änderungen enthalten.)

- ☐ der internationalen Anmeldung in der ursprünglich eingereichten Fassung
- ☒ der Beschreibung, Seite
Seite
Seite 1-9
in der ursprünglich eingereichten Fassung
, eingereicht mit dem Antrag
, eingereicht mit Schreiben vom 11.01.99
- ☒ der Ansprüche, Nr.
Nr.
Nr.
Nr. 1-13
in der ursprünglich eingereichten Fassung
in der nach Artikel 19 geänderten Fassung
, eingereicht mit dem Antrag
, eingereicht mit Schreiben vom 11.01.99
- ☒ der Zeichnungen, Blatt / Abb. 1/2-2/2
Blatt / Abb.
Blatt / Abb.
in der ursprünglich eingereichten Fassung
, eingereicht mit dem Antrag
, eingereicht mit Schreiben vom

2. Aufgrund der Änderungen sind folgende Unterlagen fortgefallen:

- ☐ Beschreibung: Seite
- ☐ Ansprüche: Nr.
- ☐ Zeichnungen: Blatt / Abb.

3. ☒ Dieser Bericht ist ohne Berücksichtigung (von einigen) der Änderungen erstellt worden, da diese aus den im Zusatzfeld angegebenen Gründen nach Auffassung der Behörde über den Offenbarungsgehalt in der ursprünglich eingereichten Fassung hinausgehen (Regel 70.2 c)).

Das Merkmal "mit stegbreiten kleiner 2 μ m" in Anspruch 1 scheint keine Grundlage in den ursprünglichen Unterlagen zu haben und bringt deshalb Sachverhalten, die im Widerspruch zu Artikel 34(2) b) PCT, über den Offenbarungsgehalt der Anmeldung hinausgehen.

4. Etwaig zusätzlich Bemerkungen:

V. Begründete Feststellung nach Artikel 35 (2) hinsichtlich der Neuheit, der erfinderischen Tätigkeit und der gewerblichen Anwendbarkeit; Unterlagen und Erklärungen zur Stützung dieser Feststellung

1. Feststellung

Neuheit	Ansprüche	3, 9, 13	JA
	Ansprüche	1, 2, 4-8, 10-12	NEIN
Erfinderische Tätigkeit	Ansprüche		JA
	Ansprüche	3, 9, 13	NEIN
Gewerbliche Anwendbarkeit	Ansprüche	1-13	JA
	Ansprüche		NEIN

2. Unterlagen und Erklärungen

Druckschrift D1: IEEE Electron Device Letters, Band 17, Nr. 7, Juli 1996, Seiten 334, 337 beschreibt einen Si-Ge Heterobipolartransistor (und dessen Herstellungsverfahren) mit einer Si-Kollektorschicht, einer dotierten Si-Ge Basisschicht und einer Si-Emitterschicht, wobei C in den Basis- und Kollektorschichten vorhanden ist. Die C-Konzentration in der Basisschicht beträgt ca. $5 \cdot 10^{20} \text{cm}^{-3}$ (siehe Seite 334 und Fig. 1). Weil diese Merkmale mit den Merkmalen des Anspruchs 1 übereinstimmen, folgt zwangsläufig, dass die relative Änderung der Gitterkonstante kleiner $5 \cdot 10^{-3}$ ist und die punktdefektgestützte Diffusionsbeschleunigung unterbunden wird. Gemäß D1 (siehe Seite 335, Spalte 1, Z. 17, 18) sind solche Transistoren hochfrequenztauglich. Demnach ist der Gegenstand der Ansprüche 1 und 6 nicht neu (Artikel 33(2) PCT).

Gemäß D1 ist die Basisschicht mit B dotiert in einer Konzentration von $7 \cdot 10^{19} \text{cm}^{-3}$, und weist eine C Konzentration von ca. $5 \cdot 10^{20} \text{cm}^{-3}$ auf. Die Konzentration von Ge in der Basisschicht liegt zwischen 20 und 25% und der Ge Konzentrationsverlauf entspricht der Form eines Rechtecks (siehe Fig. 1). Demnach sind auch die Gegenstände der Ansprüche 2, 4 und 5 nicht neu.

Die Gegenstände folgender Ansprüche sind gegenüber D1 nicht neu:

- Anspruch 7: die C-Konzentration der CVD-Kollektorschicht liegt, gemäß Fig. 1 aus D1, zwischen 10^{18} und 10^{20}cm^{-3} .
- Anspruch 8: die C-Konzentration in der Basisschicht ist ca. $5 \cdot 10^{20}\text{cm}^{-3}$.
- Anspruch 10: C wird gemäß D1 in Kollektor und Basisschichten in einer Konzentration zwischen 10^{18} und $5 \cdot 10^{20}\text{cm}^{-3}$ eingebaut.
- Anspruch 11: B ist in der Basisschicht in einer Konzentration von $7 \cdot 10^{19}\text{cm}^{-3}$ vorhanden (siehe D1, Seite 334, Rechte Spalte).
- Anspruch 12: In D1 wird ein CVD-Verfahren benutzt.

Die abhängigen Ansprüche 3, 9, 13 enthalten keine Merkmale, die in Kombination mit den Merkmalen irgendeines Anspruchs, auf den sie sich beziehen, die Erfordernisse des PCT in bezug auf Neuheit bzw. erfinderische Tätigkeit erfüllen. Die Gründe dafür sind die folgenden:

Ansprüche 3, 9 und 13 betreffen nur geringfügige Änderungen des aus D1 bekannten Gegenstands bzw. Verfahrens.

Hochfrequenztauglicher Silizium-Germanium-Heterobipolartransistor und Verfahren zur Herstellung der epitaktischen Einzelschichten eines derartigen Transistors

Die Erfindung bezieht sich auf einen hochfrequenztauglichen Silizium-Germanium-Heterobipolartransistor und ein Verfahren zur Herstellung der epitaktischen Einzelschichten von einem hochfrequenztauglichen Silizium-Germanium-Heterobipolartransistor.

Neben der Verwendung von Galliumarsenid zur Herstellung von Höchsthäufigkeitstransistoren finden auch Silizium-Germanium-Heterobipolartransistoren in hochfrequenten Bereichen infolge der geringeren Herstellungskosten zunehmend Anwendung. Solche Transistoren bestehen meist aus einer Schichtenfolge Silizium-Kollektorschicht, p-dotierte Silizium-Germanium-Basischicht und Emitterschicht.

Die deutsche Offenlegungsschrift DE 43 01 333 A1 beschreibt ein Verfahren zur Herstellung integrierter Silizium-Germanium-Heterobipolartransistoren, bei dem eine Kollektorschicht, eine Basischicht, eine Emitterschicht und eine Emitteranschlußschicht mittels eines einzigen unterbrechungsfreien Prozesses abgeschieden und gleichzeitig dotiert werden. Dieses Verfahren zur Herstellung hochfrequenztauglicher Transistoren hat den Nachteil, daß eine weitere Erhöhung der Dotierung der Basis mit Fremdatomen eine bei entsprechender Temperatur stattfindende Dotandenausdiffusion, d. h. eine Verbreiterung des Basisgebiets zur Folge hätte. Eine Dotandenausdiffusion hat einerseits eine nichtkonstante Transistorfertigung und andererseits eine Verringerung der Kollektor- und Emitterströme zur Folge. Somit ist eine Verbesserung der Hochfrequenzeigenschaften von Transistoren auf diesem Wege nicht

möglich. Ebenfalls wird durch die Verbreiterung der dotierten Gebiete eine weitere Strukturverkleinerung begrenzt.

Die japanische Patentanmeldung JP 5 102 177 beinhaltet einen Silizium-Germanium-Heterobipolartransistor, dessen Basis mit 5% Kohlenstoff zur Kompensation der durch Germanium eingebrachten mechanischen Spannungen versetzt ist. Solche hohen Kohlenstoffkonzentrationen führen jedoch zu einer starken lokalen Gitterdeformation, die unter anderem die HF-Tauglichkeit der Transistoren einschränkt.

Auch in IEEE Electron Device Letters, Band 17, Nr. 7, July 1996, Seiten 334-337 sowie in Appl. Phys. Lett., vol. 60, no. 24 pp. 3033-3035, 1992 und Mater. Lett., vol. 18, pp. 57-60,

1993 wird Kohlenstoff in die Basis mit dem Ziel eingebaut, eine Spannungskompensation von Germanium im Silizium durch Kohlenstoff sowie eine Bandlückenvariation zu erreichen. Optimale Ergebnisse wurden bei einer Kohlenstoffkonzentration von $5 \cdot 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ festgestellt.

Es ist mit ähnlichen Nachteilen wie bei der o.g. JP 5 102 177 zu rechnen. In IEEE Electron Device Letters, Band 17, Nr. 7, July 1996, Seiten 334-337 wurden großflächige MESA-Transistoren mit Emitterflächen von $\geq 400 \mu\text{m}^2$ (Stegbreiten $\geq 20 \mu\text{m}$) benutzt, um statische Bauelementecharakteristiken zu bestimmen. Derartige Transistoren mit großen Emitterflächen genügen Hochfrequenzanforderungen nicht.

Um hochfrequenztaugliche SiGe-Transistoren herzustellen, sind Stegbreiten kleiner $2 \mu\text{m}$ notwendig, wie beispielsweise in T. F. Meister: SiGe Base Bipolar Technology with 74 GHz f_{max} and 11 ps Gate Delay. IEDM 95-739 dargestellt.

In der Patentschrift US 5,378,901 ist ein Siliziumkarbidtransistor offenbart, bei dem als Basis-, Kollektor- und Emittmaterial Siliziumkarbid verwendet wird. Die hohen Herstellungstemperaturen verhindern die Integration in hochfrequenztaugliche Schaltungen.

Aufgabe der Erfindung ist es, einen hochfrequenztauglichen Silizium-Germanium-Heterobipolartransistor vorzuschlagen, bei dem die Ausdiffusion des Dotanden des Basisgebiets um mehr als 50% gegenüber herkömmlichen Silizium-Germanium-Heterobipolartransistoren reduziert wird. Weiterhin ist es Aufgabe der Erfindung, an sich bekannte Verfahren zur Herstellung der epitaktischen Einzelschichten für einen solchen hochfrequenztauglichen Silizium-Germanium-Heterobipolartransistor mit einer Silizium-Kollektorschicht, einer dotierten Silizium-Germanium-Basissschicht und einer Silizium-Emitterschicht so auszugestalten, daß die üblichen Beschränkungen und hohen Anforderungen für nachfolgende Prozesse verringert werden. Dies betrifft insbesondere die Implantationsdosis und die Temperatur-Zeit-Belastung der epitaktischen Schicht. Derart hergestellte Silizium-Germanium-Heterobipolartransistoren besitzen eine erhöhte Transitfrequenz, eine erhöhte maximale Schwingfrequenz und/oder ein verringertes Rauschmaß je nach Anforderungen und Einsatzzweck.

Weiterhin ist es Aufgabe der Erfindung, die Borausdiffusion aus der Silizium-Germanium-Schicht aufgrund punktdefektgestützter Diffusionsbeschleunigung zu unterbinden, um im Skalierungsbereich von 0,4 μm Stegbreite und kleiner, HF-Eigenschaften ohne Verluste zu erhalten. Dadurch sollen im Vergleich zu größeren Emitterflächen gleiche Transit- und maximale Schwingfrequenzen erreicht werden.

Diese Aufgabenstellung wird erfindungsgemäß durch die nachfolgende Erfindungsdarlegung gelöst.

Auf eine reine Siliziumoberfläche findet eine einkristalline Abscheidung entsprechend dem gewünschten Transistorprofil statt. Der erfindungsgemäße Silizium-Germanium-Heterobipolartransistor enthält in mindestens einer der drei Einzelschichten des Transistors,

GEÄNDERTES BLATT

nämlich der Emitterschicht oder der Basisschicht oder der Kollektorschicht, in einer Konzentration zwischen 10^{18} cm^{-3} und 10^{21} cm^{-3} ein zusätzliches, elektrisch nicht aktives Material, vorzugsweise ein Element der vierten Hauptgruppe. Hergestellt wird die Halbleiteranordnung von Silizium-Germanium-Heterobipolartransistoren mittels Epitaxieverfahren, z. B. durch Gasphasenepitaxie oder Molekularstrahlepitaxie. Durch die der Epitaxie nachfolgenden technologischen Verfahrensschritte kommt es zu Defekten, z. B. Zwischengitteratomen im Halbleiterkristall, die eine Diffusion von Gitterfremdatomen, z. B. Dotanden, begünstigen. Ein wie bereits ausgeführtes, in die Epitaxieschicht eingebrachtes, elektrisch nicht aktives Material bindet diese Defekte und verringert die Diffusion des Dotanden. Die durch das Einbringen eines elektrisch nicht aktiven Materials, vorzugsweise Kohlenstoff, hervorgerufene relative Änderung der Gitterkonstante ist dabei kleiner als $5 \cdot 10^{-3}$. Die Ausdiffusion des Dotanden verringert sich, was eine Verbreiterung des Basisgebiets einschränkt. Damit lassen sich hochfrequenztaugliche Transistoren auf zwei Wegen herstellen: Die Dotierungsdosis des Basisgebiets wird erhöht und/oder die Basisbreite wird verringert. In jedem der möglichen Fälle erhöht sich die Konzentration des Dotanden im Basisgebiet des Transistors auf einen Wert zwischen $5 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ und 10^{21} cm^{-3} bei Verwendung von Bor als Dotand. Damit verringert sich der Widerstand der inneren Basis. Ausgangspunkt für erfindungsgemäßes Verfahren ist die übliche Herstellung eines vorbehandelten Silizium-Substrats. Das Verfahren ist durch folgende Verfahrensschritte gekennzeichnet: Zuerst wird Silizium zur Herstellung der Kollektorschicht aufgedampft. Anschließend wird beim weiteren Siliziumaufdampfen zusätzlich Germanium eingebracht und mittels Gitterfremdatomen dotiert. Als Dotand findet vorzugsweise Bor Verwendung. Durch diesen Verfahrensschritt wird die Basis hergestellt. Nach dem Abschalten des

Zuflusses von Germanium und dem Dotierstoff wird die Emitterschicht durch weiteres Aufdampfen von Silizium hergestellt.

Während mindestens einem der bisher aufgeführten Verfahrensschritte wird ein elektrisch nicht aktives Material, vorzugsweise Kohlenstoff, in einer Konzentration zwischen 10^{18} cm^{-3}

5 und 10^{21} cm^{-3} während der Herstellung der epitaktischen Schicht hinzugefügt, wobei die

dadurch eingebrachte relative Änderung der Gitterkonstante kleiner als $5 \cdot 10^{-3}$ infolge der geringen Konzentration des elektrisch nicht aktiven Materials ist. Geringe zusätzliche

Gitterverspannung bedeutet keine zusätzliche Quelle von möglichen Gitterdefekten. Zur

Herstellung der epitaktischen Schicht finden CVD-Verfahren oder MBE-Verfahren

10 Anwendung. Nach der Epitaxie findet die übliche Weiterprozessierung bis zur Herstellung des

endgültigen erfindungsgemäßen Silizium-Germanium-Heterobipolartransistors statt. Das

Produkt aus Germaniumkonzentration in der Basisschicht und Breite der Basisschicht von

Kollektor bis Emitter beträgt bei erfindungsgemäßem Silizium-Germanium-

Heterobipolartransistor zwischen 50 Atomprozent nm und 2000 Atomprozent nm. Die

15 Breite der Basisschicht von Kollektor bis Emitter liegt etwa zwischen 5 nm und 60 nm,

vorzugsweise zwischen 35 nm und 40 nm. Die Konzentration des Germaniums in der

Basisschicht liegt etwa zwischen 8% und 30%, vorzugsweise zwischen 20% und 28%.

Die Merkmale der Erfindung gehen außer aus den Ansprüchen auch aus der Beschreibung und

20 den Zeichnungen hervor, wobei die einzelnen Merkmale jeweils für sich allein oder zu

mehreren in Form von Unterkombinationen schutzfähige Ausführungen darstellen, für die hier

Schutz beansprucht wird. Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Zeichnungen

dargestellt und werden im folgenden näher erläutert. In den Zeichnungen zeigen:

Fig. 1 schematischer Schichtaufbau eines Silizium-Germanium-Heterobipolartransistors

Fig. 2 Stufen des Verfahrens zur Herstellung der epitaktischen Einzelschichten für einen Silizium-Germanium-Heterobipolartransistor

5 Fig. 3 schematischer Schnitt durch einen Silizium-Germanium-Heterobipolartransistor

Fig. 4, 5, 6 Konzentrationsverläufe von Germanium in Silizium-Germanium-Heterobipolartransistoren

10 In Fig. 1 ist der Schichtaufbau eines erfindungsgemäßen Silizium-Germanium-Heterobipolartransistors, bestehend aus einem dotierten Silizium-Substrat 1, einer undotierten Silizium-Kohlenstoff-Kollektorschicht 2, einer dotierten Silizium-Germanium-Kohlenstoff-Basisschicht 3 und einer undotierten Silizium-Kohlenstoff-Emitterschicht 4, dargestellt. Der gesamte Schichtaufbau des Transistors inklusive Dotierung des Basisgebiets mit Bor wird
15 mittels Molekularstrahlepitaxie hergestellt.

Gleichzeitig wird bei der Epitaxie - in diesem Ausführungsbeispiel - während der Herstellung aller drei Einzelschichten, der Kollektorschicht, der Basisschicht und der Emitterschicht, Kohlenstoff in einer Konzentration zwischen 10^{18} cm^{-3} und 10^{21} cm^{-3} zugegeben. Dies entspricht einer Kohlenstoffkonzentration zwischen 0,0015% und 1,5%. Dadurch wird eine
20 mögliche Bordiffusion signifikant verringert, so daß die Dotandenausdiffusionsgebiete 5 im Vergleich zu herkömmlichen Transistoren dieses Typs verkleinert werden. Durch erfindungsgemäße Einfügung von Kohlenstoff verringert sich die Diffusionslänge von Bor um mehr als 50% gegenüber der Diffusionslänge, die ohne Hinzufügung von Kohlenstoff auftritt. Es kommt zur Ausbildung eines sehr steilen Borprofils. Die dadurch verringerte Basisweite

hat eine geringere Basislaufzeit zur Folge. Dies ist gleichbedeutend mit einer Erhöhung der Transitfrequenz und der Erhöhung der maximalen Schwingfrequenz bzw. einem verringerten Rauschmaß des erfindungsgemäßen Transistors.

Eine weitere Verbesserung der Hochfrequenztauglichkeit erfindungsgemäßen Silizium-Germanium-Heterobipolartransistors wird durch Erhöhung der Borkonzentration zwischen $5 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ und 10^{21} cm^{-3} in der Basisschicht 3 erreicht.

Zur Herstellung eines solchen Silizium-Germanium-Heterobipolartransistors werden folgende in Fig. 2 dargestellte Verfahrensschritte durchgeführt: Vor dem erfindungsgemäßen Teil des Verfahrens wird ein vorbehandeltes Silizium-Substrat in einem Verfahrensschritt A_0 üblicherweise hergestellt. Daran schließen sich die Schritte

- A** Siliziumaufdampfen zur Herstellung der Kollektorschicht,
- B** Siliziumaufdampfen und zusätzliches Einbringen von Germanium und Dotanden zur Herstellung der Basisschicht und
- C** Abschalten von Germanium und Dotierstoff und Siliziumaufdampfen zur Herstellung der Emitterschicht

an, wobei während mindestens einem der Verfahrensschritte **A** bis **C** Kohlenstoff in einer Konzentration zwischen 10^{18} cm^{-3} und 10^{21} cm^{-3} eingebaut wird und die dadurch eingebrachte relative Änderung der Gitterkonstante kleiner als $5 \cdot 10^{-3}$ ist.

Nach der Epitaxie findet eine übliche Weiterprozessierung **D** statt bis zur Herstellung eines erfindungsgemäßen Silizium-Germanium-Heterobipolartransistors.

Fig. 3 zeigt einen schematischen Schnitt durch einen derart hergestellten Silizium-Germanium-Heterobipolartransistor. Auf einem hochdotierten Substrat 31 aus Silizium sind

durch Epitaxie der undotierte Silizium-Kohlenstoff-Kollektor 32, der undotierte Silizium-Kohlenstoff-Emitter 33 und die mit Bor in einer Konzentration zwischen $5 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ und 10^{21} cm^{-3} dotierte Basis 34 aus Silizium, Germanium und Kohlenstoff aufgewachsen. Weiterhin beinhaltet die Figur die entsprechenden Kontaktgebiete 35 sowie ein
 5 Implantgebiet 36. Die Konzentration des Kohlenstoffs in der epitaktischen Schicht beträgt zwischen 10^{18} cm^{-3} und 10^{21} cm^{-3} .

Die Figuren 4 bis 6 zeigen Konzentrationsverläufe von Germanium im Silizium erfindungsgemäßer Silizium-Germanium-Heterobipolartransistoren. Die Verläufe haben eine
 10 rechteckige, dreieckige oder trapezartige Form. In allen Diagrammen ist auf der Abszisse der Basisbereich durch die Werte x_1 und x_2 begrenzt. Die Ordinate stellt den prozentualen Verlauf der Konzentration des Germaniums dar.

Beim Transistor mit rechteckförmigem Germaniumkonzentrationsverlauf nach Fig. 4 beträgt
 15 die Breite der Basisschicht 30 nm. Die Konzentration des Germaniums in der Basisschicht beträgt etwa konstant 22%. Durch dieses Transistorprofil werden bevorzugt hohe Stromverstärkungen und gute dynamische Eigenschaften erreicht.

Beim Transistor mit dreieckförmigem Germaniumkonzentrationsverlauf nach Fig. 5 beträgt
 20 die Breite der Basisschicht 40 nm. Die Konzentration des Germaniums in der Basisschicht beträgt in der Mitte der Basisschicht, wo sie ihren Maximalwert erreicht, etwa 26%. Dieses Transistorprofil ermöglicht die Einstellung sehr hoher Early-Spannungen. Des weiteren gestattet dieses Transistorprofil die Einprägung eines Driftfeldes, um die Basislaufzeit der Minoritätsträger zu verringern.

Beim Transistor mit trapezförmigem Germaniumkonzentrationsverlauf nach Fig. 6 beträgt die Breite der Basisschicht 35 nm. Die Konzentration des Germaniums in der Basisschicht steigt von der Kollektor- bzw. Emitterseite des Transistor linear von etwa 10% auf 22% an. In diesem Ausführungsbeispiel werden durch das Transistorprofil sowohl eine hohe Stromverstärkung als auch eine hohe Early-Spannung, verbunden mit einem Driftfeld, zur Verringerung der Basislaufzeit erreicht.

Bei zunehmender Skalierung wird eine Verbreiterung der Kontaktgebiete durch die Verhinderung der Borausdiffusion durch Kohlenstoff unterbunden, so daß im Skalierungsbereich von 0,4 μm Stegbreite und kleiner HF-Eigenschaften ohne Verluste erhalten bleiben. Auch bei hier geringen Strömen werden im Vergleich zu größeren Strukturen gleiche Transit- und Maximalfrequenzen erreicht.

In der vorliegenden Erfindung wurde anhand konkreter Ausführungsbeispiele ein hochfrequenztauglicher Silizium-Germanium-Heterobipolartransistor sowie ein Verfahren zur Herstellung der epitaktischen Einzelschichten eines solchen Transistors erläutert. Es sei aber vermerkt, daß die vorliegende Erfindung nicht auf die Einzelheiten der Beschreibung in den Ausführungsbeispielen eingeschränkt ist, da im Rahmen der Patentansprüche Änderungen und Abwandlungen beansprucht werden.

Patentansprüche

- 5 1. Hochfrequenztauglicher Silizium-Germanium-Heterobipolartransistor mit Stegbreiten kleiner $2\text{ }\mu\text{m}$, einer Silizium-Kollektorschicht, einer dotierten Silizium-Germanium-Basisschicht und einer Silizium-Emitterschicht, **dadurch gekennzeichnet**, daß Kohlenstoff in mindestens einer der drei Einzelschichten des Transistors, nämlich der Emitterschicht und/oder der Basisschicht und/oder der Kollektorschicht, in einer
- 10 Konzentration zwischen 10^{18} cm^{-3} und 10^{21} cm^{-3} eingebaut ist und die dadurch eingebrachte relative Änderung der Gitterkonstante kleiner $5\cdot 10^{-3}$ ist, so daß punktdefektgestützte Diffusionsbeschleunigung unterbunden wird.
2. Hochfrequenztauglicher Silizium-Germanium-Heterobipolartransistor nach Anspruch 1,
- 15 **dadurch gekennzeichnet**, daß die Basisschicht mit Bor dotiert ist und bei einer Konzentration des Dotanden im Basisgebiet zwischen $5\cdot 10^{19}\text{ cm}^{-3}$ und 10^{21} cm^{-3} in der Epitaxieschicht eine Kohlenstoffkonzentration zwischen 10^{18} cm^{-3} und 10^{21} cm^{-3} vorliegt und dabei die Defektdichte des Transistors kleiner als 10^4 cm^{-2} ist.
- 20 3. Hochfrequenztauglicher Silizium-Germanium-Heterobipolartransistor nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Breite der Basisschicht von Kollektor bis Emitter zwischen 5 nm und 40 nm liegt.

4. Hochfrequenztauglicher Silizium-Germanium-Heterobipolartransistor nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Konzentration von Germanium in der Basisschicht zwischen 8% und 30%, vorzugsweise zwischen 20% und 28% liegt.

5

5. Hochfrequenztauglicher Silizium-Germanium-Heterobipolartransistor nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Germaniumkonzentrationsverlauf in der Basisschicht der Form eines Rechtecks, eines Dreiecks oder eines Trapezes entspricht.

10

6. Verfahren zur Herstellung der epitaktischen Einzelschichten für einen im Anspruch 1 gekennzeichneten hochfrequenztauglichen Silizium-Germanium-Heterobipolartransistor mit einer Silizium-Kollektorschicht, einer dotierten Silizium-Germanium-Basisschicht und einer Silizium-Emitterschicht, **dadurch gekennzeichnet**, daß während der Herstellung von Einzelschichten, nämlich Emitterschicht (4), Basisschicht (3) und Kollektorschicht (2), in mindestens eine dieser Schichten Kohlenstoff in einer Konzentration zwischen 10^{18} cm^{-3} und 10^{21} cm^{-3} beigelegt wird, so daß punktdefektgestützte Diffusionsbeschleunigung unterbunden wird und gleichzeitig die Basisschicht mittels Fremdatomen dotiert wird, wobei die dadurch eingebrachte relative Änderung der Gitterkonstante kleiner $5 \cdot 10^{-3}$ ist.

20

7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, daß bei einem Verfahrensschritt (A), nämlich Siliziumaufdampfen zur Herstellung der Kollektorschicht, Kohlenstoff in einer Konzentration zwischen 10^{18} cm^{-3} und 10^{21} cm^{-3} eingebaut wird.

8. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, daß bei einem Verfahrensschritt (B), nämlich Siliziumaufdampfen und zusätzliches Einbringen von Germanium und Dotanden zur Herstellung der Basisschicht, Kohlenstoff in einer Konzentration zwischen 10^{18} cm^{-3} und 10^{21} cm^{-3} eingebaut wird.
9. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, daß bei einem Verfahrensschritt (C), nämlich Abschalten von Germanium und Dotierstoff und Siliziumaufdampfen zur Herstellung der Emitterschicht, Kohlenstoff in einer Konzentration zwischen 10^{18} cm^{-3} und 10^{21} cm^{-3} eingebaut wird, wobei die dadurch eingebrachte relative Änderung der Gitterkonstante kleiner $5 \cdot 10^{-3}$ ist.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, daß Kohlenstoff in einer Konzentration zwischen 10^{18} cm^{-3} und 10^{21} cm^{-3} bei den Verfahrensschritten (A) und (B) oder den Verfahrensschritten (A) und (C) oder den Verfahrensschritten (B) und (C) oder den Verfahrensschritten (A) und (B) und (C) eingebaut wird.
11. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 7 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, daß bei der Herstellung der Basisschicht (3) als Dotand Bor in einer Konzentration zwischen $5 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ und 10^{21} cm^{-3} Verwendung findet.

12. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 7 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Herstellung der epitaktischen Schicht im CVD-Verfahren durchgeführt wird.

5 13. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 7 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Herstellung der epitaktischen Schicht im MBE-Verfahren durchgeführt wird.

Zusammenfassung

- 5 Die Erfindung bezieht sich auf einen hochfrequenztauglichen Silizium-Germanium-Heterobipolartransistor und ein Verfahren zur Herstellung der epitaktischen Einzelschichten von einem hochfrequenztauglichen Silizium-Germanium-Heterobipolartransistor.

Derart hergestellte Silizium-Germanium-Heterobipolartransistoren besitzen eine erhöhte Transitfrequenz, eine erhöhte maximale Schwingfrequenz und/oder ein verringertes

- 10 Rauschmaß je nach Anforderungen und Einsatzzweck.

Auf eine reine Siliziumoberfläche findet eine einkristalline Abscheidung entsprechend dem gewünschten Transistorprofil statt. Der Silizium-Germanium-Heterobipolartransistor enthält ein zusätzliches, elektrisch nicht aktives Material. Hergestellt wird die Halbleiteranordnung von Silizium-Germanium-Heterobipolartransistoren mittels Epitaxieverfahren. Ein in die

- 15 Epitaxieschicht eingebrachtes, elektrisch nicht aktives Material bindet Herstellungsdefekte und verringert die Diffusion des Dotanden. Damit lassen sich hochfrequenztaugliche Transistoren auf zwei Wegen herstellen: Die Dotierungsdosis des Basisgebiets wird erhöht und/oder die Basisbreite wird verringert.

PCT

REQUEST

The undersigned requests that the present international application be processed according to the Patent Cooperation Treaty.

For receiving Office use only

International Application No.

International Filing Date

Name of receiving Office and "PCT International Application"

Applicant's or agent's file reference
(if desired) (12 characters maximum) IHP.095.PCT

Box No. I TITLE OF INVENTION	
Silicon Germanium Hetero Bipolar Transistor and Method of Making the Epitaxial Individual Layers of such a Transistor	
Box No. II APPLICANT	
Name and address: (Family name followed by given name; for a legal entity, full official designation. The address must include postal code and name of country. The country of the address indicated in this Box is the applicant's State (that is, country) of residence if no State of residence is indicated below.)	
Institut fuer Halbleiterphysik Frankfurt (Oder) GmbH. Walter-Korsing-Strasse 2 D-15230 Frankfurt (Oder) Germany	<input type="checkbox"/> This person is also inventor. Telephone No. Facsimile No. Teleprinter No.
State (that is, country) of nationality: Germany	State (that is, country) of residence: Germany
This person is applicant <input type="checkbox"/> all designated States <input checked="" type="checkbox"/> all designated States except the United States of America <input type="checkbox"/> the United States of America only <input type="checkbox"/> the States indicated in the Supplemental Box	
Box No. III FURTHER APPLICANT(S) AND/OR (FURTHER) INVENTOR(S)	
Name and address: (Family name followed by given name; for a legal entity, full official designation. The address must include postal code and name of country. The country of the address indicated in this Box is the applicant's State (that is, country) of residence if no State of residence is indicated below.)	
Lippert, Dr. Gunther Sophienstrasse 5 D-15230 Frankfurt (Oder) Germany	This person is: <input type="checkbox"/> applicant only <input checked="" type="checkbox"/> applicant and inventor <input type="checkbox"/> inventor only (If this check-box is marked, do not fill in below.)
State (that is, country) of nationality: Germany	State (that is, country) of residence: Germany
This person is applicant <input type="checkbox"/> all designated States <input type="checkbox"/> all designated States except the United States of America <input checked="" type="checkbox"/> the United States of America only <input type="checkbox"/> the States indicated in the Supplemental Box	
<input checked="" type="checkbox"/> Further applicants and/or (further) inventors are indicated on a continuation sheet.	
Box No. IV AGENT OR COMMON REPRESENTATIVE; OR ADDRESS FOR CORRESPONDENCE	
The person identified below is hereby/has been appointed to act on behalf of the applicant(s) before the competent International Authorities as: <input checked="" type="checkbox"/> agent <input type="checkbox"/> common representative	
Name and address: (Family name followed by given name; for a legal entity, full official designation. The address must include postal code and name of country.)	
Heitsch, Wolfgang European Patent Agent Goehlsdorfer Strasse 25g D-14778 Jeserig Germany	Telephone No. 033207-51138 Facsimile No. 033207-51139 Teleprinter No.
<input type="checkbox"/> Address for correspondence: Mark this check-box where no agent or common representative is/has been appointed and the space above is used instead to indicate a special address to which correspondence should be sent.	

Continuation of Box No. III FURTHER APPLICANTS AND/OR (FURTHER) INVENTOR(S)*If none of the following sub-boxes is used, this sheet is not to be included in the request.*

Name and address: (Family name followed by given name; for a legal entity, full official designation. The address must include postal code and name of country. The country of the address indicated in this Box is the applicant's State (that is, country) of residence if no State of residence is indicated below.)

Osten, Prof. Dr. Hans-Joerg
Fasanenweg 19
D-15299 Muellrose
Germany

This person is:

- ☐ applicant only
☒ applicant and inventor
☐ inventor only (If this check-box is marked, do not fill in below.)

State (that is, country) of nationality:
Germany

State (that is, country) of residence:
Germany

This person is applicant for the purposes of: ☐ all designated States ☐ all designated States except the United States of America ☒ the United States of America only ☐ the States indicated in the Supplemental Box

Name and address: (Family name followed by given name; for a legal entity, full official designation. The address must include postal code and name of country. The country of the address indicated in this Box is the applicant's State (that is, country) of residence if no State of residence is indicated below.)

Heinemann, Bernd
Schalmeienweg 29
D-15234 Frankfurt (Oder)
Germany

This person is:

- ☐ applicant only
☒ applicant and inventor
☐ inventor only (If this check-box is marked, do not fill in below.)

State (that is, country) of nationality:
Germany

State (that is, country) of residence:
Germany

This person is applicant for the purposes of: ☐ all designated States ☐ all designated States except the United States of America ☒ the United States of America only ☐ the States indicated in the Supplemental Box

Name and address: (Family name followed by given name; for a legal entity, full official designation. The address must include postal code and name of country. The country of the address indicated in this Box is the applicant's State (that is, country) of residence if no State of residence is indicated below.)

This person is:

- ☐ applicant only
☐ applicant and inventor
☐ inventor only (If this check-box is marked, do not fill in below.)

State (that is, country) of nationality:

State (that is, country) of residence:

This person is applicant for the purposes of: ☐ all designated States ☐ all designated States except the United States of America ☐ the United States of America only ☐ the States indicated in the Supplemental Box

Name and address: (Family name followed by given name; for a legal entity, full official designation. The address must include postal code and name of country. The country of the address indicated in this Box is the applicant's State (that is, country) of residence if no State of residence is indicated below.)

This person is:

- ☐ applicant only
☐ applicant and inventor
☐ inventor only (If this check-box is marked, do not fill in below.)

State (that is, country) of nationality:

State (that is, country) of residence:

This person is applicant for the purposes of: ☐ all designated States ☐ all designated States except the United States of America ☐ the United States of America only ☐ the States indicated in the Supplemental Box

☐ Further applicants and/or (further) inventors are indicated on another continuation sheet.

Box No.V DESIGNATION OF STATES

The following designations are hereby made under Rule 4.9(a) (*mark the applicable check-boxes; at least one must be marked*):

Regional Patent

- ☐ **AP ARIPO Patent:** GH Ghana, GM Gambia, KE Kenya, LS Lesotho, MW Malawi, SD Sudan, SZ Swaziland, UG Uganda, ZW Zimbabwe, and any other State which is a Contracting State of the Harare Protocol and of the PCT
- ☐ **EA Eurasian Patent:** AM Armenia, AZ Azerbaijan, BY Belarus, KG Kyrgyzstan, KZ Kazakhstan, MD Republic of Moldova, RU Russian Federation, TJ Tajikistan, TM Turkmenistan, and any other State which is a Contracting State of the Eurasian Patent Convention and of the PCT
- ☒ **EP European Patent:** AT Austria, BE Belgium, CH and LI Switzerland and Liechtenstein, CY Cyprus, DE Germany, DK Denmark, ES Spain, FI Finland, FR France, GB United Kingdom, GR Greece, IE Ireland, IT Italy, LU Luxembourg, MC Monaco, NL Netherlands, PT Portugal, SE Sweden, and any other State which is a Contracting State of the European Patent Convention and of the PCT
- ☐ **OA OAPI Patent:** BF Burkina Faso, BJ Benin, CF Central African Republic, CG Congo, CI Cote d'Ivoire, CM Cameroon, GA Gabon, GN Guinea, GW Guinea-Bissau, ML Mali, MR Mauritania, NE Niger, SN Senegal, TD Chad, TG Togo, and any other State which is a member State of OAPI and a Contracting State of the PCT (*if other kind of protection or treatment desired, specify on dotted line*)

National Patent (*if other kind of protection or treatment desired, specify on dotted line*):

- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> AL Albania | <input type="checkbox"/> LS Lesotho |
| <input type="checkbox"/> AM Armenia | <input type="checkbox"/> LT Lithuania |
| <input type="checkbox"/> AT Austria | <input type="checkbox"/> LU Luxembourg |
| <input type="checkbox"/> AU Australia | <input type="checkbox"/> LV Latvia |
| <input type="checkbox"/> AZ Azerbaijan | <input type="checkbox"/> MD Republic of Moldova |
| <input type="checkbox"/> BA Bosnia and Herzegovina | <input type="checkbox"/> MG Madagascar |
| <input type="checkbox"/> BB Barbados | <input type="checkbox"/> MK The former Yugoslav Republic of Macedonia |
| <input type="checkbox"/> BG Bulgaria | |
| <input type="checkbox"/> BR Brazil | <input type="checkbox"/> MN Mongolia |
| <input type="checkbox"/> BY Belarus | <input type="checkbox"/> MW Malawi |
| <input type="checkbox"/> CA Canada | <input type="checkbox"/> MX Mexico |
| <input type="checkbox"/> CH and LI Switzerland and Liechtenstein | <input type="checkbox"/> NO Norway |
| <input type="checkbox"/> CN China | <input type="checkbox"/> NZ New Zealand |
| <input type="checkbox"/> CU Cuba | <input type="checkbox"/> PL Poland |
| <input type="checkbox"/> CZ Czech Republic | <input type="checkbox"/> PT Portugal |
| <input type="checkbox"/> DE Germany | <input type="checkbox"/> RO Romania |
| <input type="checkbox"/> DK Denmark | <input type="checkbox"/> RU Russian Federation |
| <input type="checkbox"/> EE Estonia | <input type="checkbox"/> SD Sudan |
| <input type="checkbox"/> ES Spain | <input type="checkbox"/> SE Sweden |
| <input type="checkbox"/> FI Finland | <input type="checkbox"/> SG Singapore |
| <input type="checkbox"/> GB United Kingdom | <input type="checkbox"/> SI Slovenia |
| <input type="checkbox"/> GD Grenada | <input type="checkbox"/> SK Slovakia |
| <input type="checkbox"/> GE Georgia | <input type="checkbox"/> SL Sierra Leone |
| <input type="checkbox"/> GH Ghana | <input type="checkbox"/> TJ Tajikistan |
| <input type="checkbox"/> GM Gambia | <input type="checkbox"/> TM Turkmenistan |
| <input type="checkbox"/> HR Croatia | <input type="checkbox"/> TR Turkey |
| <input type="checkbox"/> HU Hungary | <input type="checkbox"/> TT Trinidad and Tobago |
| <input type="checkbox"/> ID Indonesia | <input type="checkbox"/> UA Ukraine |
| <input type="checkbox"/> IL Israel | <input type="checkbox"/> UG Uganda |
| <input type="checkbox"/> IN India | <input checked="" type="checkbox"/> US United States of America |
| <input type="checkbox"/> IS Iceland | |
| <input checked="" type="checkbox"/> JP Japan | <input type="checkbox"/> UZ Uzbekistan |
| <input type="checkbox"/> KE Kenya | <input type="checkbox"/> VN Viet Nam |
| <input type="checkbox"/> KG Kyrgyzstan | <input type="checkbox"/> YU Yugoslavia |
| <input type="checkbox"/> KP Democratic People's Republic of Korea | <input type="checkbox"/> ZW Zimbabwe |
| <input type="checkbox"/> KR Republic of Korea | |
| <input type="checkbox"/> KZ Kazakhstan | |
| <input type="checkbox"/> LC Saint Lucia | |
| <input type="checkbox"/> LK Sri Lanka | |
| <input type="checkbox"/> LR Liberia | |

Check-boxes reserved for designating States (for the purposes of a national patent) which have become party to the PCT after issuance of this sheet:

Precautionary Designation Statement: In addition to the designations made above, the applicant also makes under Rule 4.9(b) all other designations which would be permitted under the PCT except any designation(s) indicated in the Supplemental Box as being excluded from the scope of this statement. The applicant declares that those additional designations are subject to confirmation and that any designation which is not confirmed before the expiration of 15 months from the priority date is to be regarded as withdrawn by the applicant at the expiration of that time limit. (*Confirmation of a designation consists of the filing of a notice specifying that designation and the payment of the designation and confirmation fees. Confirmation must reach the receiving Office within the 15-month time limit.*)

Box No. VI PRIORITY CLAIM					<input type="checkbox"/> Further priority claims are indicated in the Supplemental Box.
Filing date of earlier application (day/month/year)	Number of earlier application	Where earlier application is:			
		national application: country	regional application:* regional Office	international application: receiving Office	
item (1) 9 December 1996	196 52 423.7	DE			
item (2) 8 December 1997	197 55 979.4	DE			
item (3)					
<input type="checkbox"/> The receiving Office is requested to prepare and transmit to the International Bureau a certified copy of the earlier application(s) (only if the earlier application was filed with the Office which for the purposes of the present international application is the receiving Office) identified above as item(s):					
<small>* Where the earlier application is an ARIPO application, it is mandatory to indicate in the Supplemental Box at least one country party to the Paris Convention for the Protection of Industrial Property for which that earlier application was filed (Rule 4.10(b)(ii)). See Supplemental Box.</small>					
Box No. VII INTERNATIONAL SEARCHING AUTHORITY					
Choice of International Searching Authority (ISA) (if two or more International Searching Authorities are competent to carry out the international search, indicate the Authority chosen; the two-letter code may be used):		Request to use results of earlier search; reference to that search (if an earlier search has been carried out by or requested from the International Searching Authority): Date (day/month/year) Number Country (or regional Office)			
ISA/					
Box No. VIII CHECK LIST: LANGUAGE OF FILING					
This international application contains the following number of sheets: request : 4 description (excluding sequence listing part) : 9 claims : 5 abstract : 1 drawings : 2 sequence listing part of description : _____ Total number of sheets : 21		This international application is accompanied by the item(s) marked below: 1. <input checked="" type="checkbox"/> fee calculation sheet 2. <input type="checkbox"/> separate signed power of attorney 3. <input checked="" type="checkbox"/> copy of general power of attorney; reference number, if any: 4. <input type="checkbox"/> statement explaining lack of signature 5. <input type="checkbox"/> priority document(s) identified in Box No. VI as item(s): 6. <input type="checkbox"/> translation of international application into (language): 7. <input type="checkbox"/> separate indications concerning deposited microorganism or other biological material 8. <input type="checkbox"/> nucleotide and/or amino acid sequence listing in computer readable form 9. <input type="checkbox"/> other (specify):			
Figure of the drawings which should accompany the abstract:		Language of filing of the international application:			
Box No. IX SIGNATURE OF APPLICANT OR AGENT					
Next to each signature, indicate the name of the person signing and the capacity in which the person signs (if such capacity is not obvious from reading the request).					
signed Wolfgang Heitsch					

For receiving Office use only	
1. Date of actual receipt of the purported international application:	2. Drawings: <input type="checkbox"/> received: <input type="checkbox"/> not received:
3. Corrected date of actual receipt due to later but timely received papers or drawings completing the purported international application:	
4. Date of timely receipt of the required corrections under PCT Article 11(2):	
5. International Searching Authority (if two or more are competent): ISA/	
6. <input type="checkbox"/> Transmittal of search copy delayed until search fee is paid	

For International Bureau use only	
Date of receipt of the record copy by the International Bureau:	

5 **Silicon Germanium Hetero Bipolar Transistor and Method
of Fabricating the Epitaxial Individual Layers of such a Transistor.**

 The invention relates to a silicon germanium hetero bipolar transistor
and to a method of fabricating the epitaxial individual layers of a silicon
10 germanium hetero bipolar transistor.

 Aside from using gallium arsenide for fabricating super high frequency
transistors, silicon germanium hetero bipolar transistors, because of their
lower fabrication costs, have found increased use in high frequency areas.
15 The sequence of layers in such transistors generally consists of a silicon
collector layer, a base layer of p-doped silicon germanium, and an emitter
layer.

 German laid-open patent specification 43 01 333 A1 describes a
20 method of fabricating integrated silicon germanium hetero bipolar transistors
in which a collector layer, a base layer, an emitter layer and an emitter
connection layer are precipitated and doped at the same time in a single
uninterrupted process. This method of fabricating transistors for high
frequency applications suffers from the drawback that a further increase in the
25 doping of the base with doping atoms would lead to an outdiffusion, i.e. a
broadening of the base region, at a corresponding temperature. Outdiffusion
of dopants, on the one hand, results in a non-uniform fabrication of transistors
and, on the other hand, in a reduction of collector and emitter currents.
Accordingly, it is not possible by this method to improve the high frequency
30 properties of transistors. Also, broadening of the doped regions limits further
broadening of the structure.

Japanese patent application JP 5,102,177 discloses a silicon germanium hetero bipolar transistor the base of which has been dislocated by 5 % of carbon to compensate for mechanical strain introduced by the germanium. However, such high carbon concentrations result in a strong
5 local lattice deformation which limits the suitability of such transistors for high frequency applications.

U.S. patent 5,378,901 discloses a silicon carbide transistor in which silicon carbide is used as the material for the base, collector and emitter. The
10 high fabrication temperatures prevent their integration into circuits suitable for high frequency applications.

It is a task of the invention to provide a silicon germanium hetero bipolar transistor in which the outdiffusion of dopant from the base region is
15 reduced by more than 50 % compared to conventional silicon germanium hetero bipolar transistors. It is a further task of the invention to structure known methods of fabricating the epitaxial individual layers of such silicon germanium hetero bipolar transistor with a silicon collector layer, a doped silicon germanium base layer and a silicon emitter layer so as to reduce the
20 usual limitations and complex requirements of subsequent processes. This refers especially to the implantation dose and the temperature time stress of the epitaxial layer. Silicon germanium hetero bipolar transistors made by this method have a higher transitory frequency, an increased maximum oscillation frequency and/or a reduced noise level depending upon requirements and
25 intended application.

Furthermore, it is a task of the invention by a point defect supported diffusion acceleration to prevent boron outdiffusion from the silicon germanium layer, in order to attain HF properties without losses in a scaling range of a
30 line width of .4 μm or less. In this manner, similar transitory and maximum oscillation frequencies are to be attained compared to larger emitter surfaces.

In accordance with the invention these tasks are accomplished by the invention described hereinafter.

A monocrystalline structure according to a desired transistor profile is precipitated on a surface of pure silicon. In at least one of its three individual layers, i.e. its emitter layer or its base layer or its collector layer, the silicon germanium hetero bipolar transistor in accordance with the invention contains an additional material which is electrically inert, preferably an element from group IV, in a concentration between 10^{18} cm^{-3} and 10^{21} cm^{-3} . The semiconductor arrangement of the silicon germanium hetero bipolar transistor is fabricated by an epitaxy process, e.g. by vapor phase epitaxy or molecular-beam epitaxy. The technological process step following the epitaxy lead to defects, e.g. interstitial atoms in the semiconductor crystal which enhance the diffusion of atoms foreign to the lattice, such as dopants. An electrically inactive material of the kind referred to and incorporated into the epitaxial layer links these defects and reduces the diffusion of the dopant. The alteration of the lattice caused by the incorporation of an electrically inert material, preferably carbon, is less than $5 \cdot 10^{-3}$. The outdiffusion of the dopant is reduced which limits broadening of the base region. This allows fabrication of transistors suitable for high frequency applications in two ways: The dopant dose of the base region is increased and/or the width of the base is reduced. Either way leads to an increase in the concentration of dopant in the base region of the transistor by between $5 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ and 10^{21} cm^{-3} if the dopant used is boron. This leads to a reduced resistance of the inner base. The invention proceeds on the basis of the conventional fabrication of a preprocessed silicon substrate. The method is characterized by the following process steps: Initially silicon is deposited by vapor deposition for fabricating the collector layer. Germanium is additionally incorporated during the following further silicon vapor deposition and is doped with lattice doping atoms. The preferred dopant used is boron. The base is fabricated by this process step. After discontinuing the addition of boron and the doping

medium the emitter layer is fabricated by further vapor deposition of silicon.

During at least one of the mentioned process steps an electrically inert material, preferably carbon, is added in a concentration of between 10^{18} cm^{-3} and 10^{21} cm^{-3} , the change in the lattice thus introduced being less than $5 \cdot 10^{-3}$

5 owing to the low concentration of the electrically inert material. A low additional lattice distortion does not imply an additional source of possible lattice defects. CVD (chemical vapor deposition) and MBE (molecular-beam epitaxy) processes are used to fabricate the epitaxial layers. Conventional further processing is carried out terminating in the silicon germanium hetero
10 bipolar transistor in accordance with the invention. In silicon germanium hetero bipolar transistors in accordance with the invention the product of the germanium concentration in the base layer and the width of the base layer from the collector to the emitter is between 50 atomic percent nm and 2,000 atomic percent nm. The width of the base layer from the collector to the
15 emitter is between about 5 nm and 60 nm and, preferably, between 35 nm and 40 nm. The concentration of germanium in the base layer is between about 8% and 30% and, preferably, between 20% and 28%.

The elements of the invention have not only been set forth in the
20 claims but also in the description and in the drawings, whereby individual elements constitute patentable inventions not only by themselves but also when combined as subcombinations, the protection of which is here being applied for. Embodiments of the invention have been depicted in the drawings and will be described in greater detail hereinafter. In the drawings:

25

Fig. 1 is a schematic rendition of the layer structure of a silicon germanium hetero bipolar transistor;

Fig. 2 depicts steps of the method of fabricating the epitaxial individual layers of a silicon germanium hetero bipolar transistor;

30 Fig. 3 is a schematic section through a silicon germanium hetero bipolar transistor;

Figs. 4, 5, 6 depict concentration curves of germanium in silicon germanium hetero bipolar transistors.

In Fig. 1, there is shown the layer structure of a silicon germanium hetero bipolar transistor in accordance with the invention, consisting of a
5 doped silicon substrate 1, a non-doped silicon carbon collector layer 2, a doped silicon germanium carbon layer 3 and a non-doped silicon carbon emitter layer 4. The entire layer structure including doping of the base region with boron is fabricated by molecular beam epitaxy.

10

In this embodiment, carbon in a concentration between 10^{18} cm^{-3} and 10^{21} cm^{-3} is added simultaneously with the epitaxy of all three individual layers, the collector layer, the base layer and the emitter layer. This corresponds to a carbon concentration of between .0015% and 1.5%. In this
15 manner an otherwise possible diffusion of boron is significantly reduced so that the regions of dopant outdiffusion 5 may be reduced compared to conventional transistors of this kind. By the addition of carbon in accordance with the invention the diffusion length of boron is reduced by more than 50% compared to a diffusion length occurring where no carbon has been added.
20 The result is a very stable boron profile. The thus reduced base width results in a reduced base transit time. This, in the context of the transistor in accordance with the invention, is the same as an increased transit frequency and an increased maximum oscillation frequency or a reduced noise level.

25 By increasing the boron concentration to between $5 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ and 10^{21} cm^{-3} in the base layer the suitability of the silicon germanium hetero bipolar transistor may be further improved.

For fabricating such a silicon germanium hetero bipolar transistor the
30 following process steps shown in Fig. 2 are performed: Prior to the part of the method in accordance with the invention a pretreated silicon substrate is

conventionally made in a process step A_0 . This is followed by the steps of:

- A vapor deposition of silicon to fabricate the collector layer;
- B Vapor deposition of silicon and additional incorporation of germanium and dopants for fabricating the base layer; and
- 5 C discontinuing germanium and dopant and vapor deposition for fabricating the emitter layer

whereby carbon in a concentration of between 10^{18} cm^{-3} and 10^{21} cm^{-3} is incorporated during at least one of the process steps with the change of the lattice thus introduced being less than $5 \cdot 10^{-3}$.

10

The epitaxy is followed by convention further processing D terminating in a final silicon germanium hetero bipolar transistor in accordance with the invention.

15

Fig. 3 depicts a schematic section through a silicon germanium hetero bipolar transistor thus fabricated. The non-doped silicon carbon collector 32, the non-doped silicon carbon emitter 33 and the base 34 of silicon, germanium and carbon doped with boron in a concentration between $5 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ and 10^{21} cm^{-3} have been grown by epitaxy on the highly doped silicon

20 substrate 31. Furthermore, the figure depicts the corresponding contact areas 35 as well as an implantation region 36. The carbon concentration in the epitaxial layer is between 10^{18} cm^{-3} and 10^{21} cm^{-3} .

20

Figs. 4 to 6 represent concentration curves of germanium in the silicon

25 of silicon germanium hetero bipolar transistors in accordance with the invention. The curves are rectangular, triangular or trapezoidal. In all diagrams, the base region is limited on the abscissa by value x_1 and x_2 . The ordinate represents the curve as a percentage of the germanium concentration.

30

In the transistor having the rectangular germanium concentration curve

of Fig. 4 the width of the base layer is 30 nm. The concentration of germanium in the base layer is about 22% constant. Preferred high current amplifications and good dynamic properties may be obtained with this transistor profile.

5 In the transistor with the triangular germanium concentration curve of Fig. 5 the width of the base layer is 40 nm. The concentration of germanium in the center of the base layer where it reaches its maximum is about 26%. This transistor profile makes it possible to set very high early currents. Moreover, this transistor profile permits impressing a drift field for reducing the
10 base transit time of the minority carrier.

 In the transistor with the trapzoidal germanium concentration curve of Fig. 6 the width of the base layer is 35 nm. The concentration of germanium in the base layer increases linearly from the side of the collector or emitter of
15 the transistor from about 10% to 22%. In this embodiment, high current amplification as well as high early current and a drift field are attained for reducing the transit time of the base.

 At increased scaling broadening of the contact regions is avoided by
20 the prevention of boron outdiffusion by carbon so that HF properties are preserved without losses in the scaling range of a line width of .4 μm or less. Compared to larger structures the same transit and maximum frequencies are attained here at lower currents.

25 In the context of the present invention a silicon germanium hetero bipolar transistor and a method of fabricating the epitaxial individual layers of such a transistor have been described with reference to concrete embodiments. It is, however, to be noted that the present invention is not restricted to the details of the description of the embodiments as changes and
30 alterations are claimed within the metes and bounds of the patent claims.

Patent Claims

1. Silicon germanium hetero bipolar transistor with a silicon collector layer, a doped silicon germanium base layer and a silicon emitter layer, characterized by the fact that an additional electrically inert material, preferably an element of group IV, is incorporated into at least one of the three individual layers, e.i. the emitter layer and/or the base layer and/or the collector layer, in a concentration between 10^{18} cm^{-3} and 10^{21} cm^{-3} and that the change in the lattice thus introduced is less than $5 \cdot 10^{-3}$.
2. Silicon germanium hetero bipolar transistor according to claim 1, characterized by the fact the electrically inert material used is carbon.
3. Silicon germanium hetero bipolar transistor according to claim 1 or 2, characterized by the fact that the base layer is doped with boron and with a concentration of the dopant in the base region between $5 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ and 10^{21} cm^{-3} the concentration of carbon in the epitaxy layer is between 10^{18} cm^{-3} and 10^{21} cm^{-3} and the defect density of the transistor is less than 10^4 cm^{-2} .
4. Silicon germanium hetero bipolar transistor with a silicon collector layer, a doped silicon germanium base layer and a silicon emitter layer, characterized by the fact that an additional electrically inert material, preferably an element from group IV is incorporated into at least one of the individual layers, i.e. the emitter layer and/or the base layer and/or the collector layer in a concentration between 10^{18} cm^{-3} and 10^{21} cm^{-3} , that the change in the lattice thus introduced is less than $5 \cdot 10^{-3}$ and that the product of germanium concentration in the base layer and the width of the base layer from the collector to the emitter is between 50 atomic percent nm and 2,000 atomic percent nm.

5. Silicon germanium hetero bipolar transistor according to one or more of the preceeding claims, characterized by the fact that the width of the base layer from the collector to the emitter is between 5 nm and 60 nm and preferably between 35 nm and 40 nm.
- 5
6. Silicon germanium hetero bipolar transistor according to one or more of the preceeding claims, characterized by the fact that the concentration of germanium in the base layer is between 8% and 30% and preferably between 20% and 28%.
- 10
7. Silicon germanium hetero bipolar transistor according to one or more of the preceeding claims, characterized by the fact that the shape of the germanium concentration curve corresponds to a rectangle, a triangle or a trapezoid.
- 15
8. Silicon germanium hetero bipolar transistor according to one or more of the preceeding claims, characterized by the fact that the silicon germanium base layer is doped with boron and that the boron concentration is between $5 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ and 10^{21} cm^{-3} and that the concentration of the incorporated carbon as the additional electrically inert material is less than $5 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$.
- 20
9. Method of fabricating the epitaxial individual layers of a silicon germanium hetero bipolar transistor characterized in claim 1 with a silicon collector layer, a doped silicon germanium base layer and a silicon emitter layer, characterized by the fact that during fabrication of individual layers, i.e. the emitter layer (4), base layer (3) and collector layer (2) an additional electrically inert material, preeferably an element from group IV, is added to at least one of these layers in a concentration between 10^{18} cm^{-3} and 10^{21} cm^{-3} and that the base layer is simultaneously doped with doping atoms with the change in the
- 25
- 30

lattice thus introduced being less than $5 \cdot 10^{-3}$.

10. Method of claim 9, characterized by the fact that during one process
step (A), namely vapor deposition of silicon for fabricating the collector
5 layer, carbon is incorporated in a concentration between 10^{18} cm^{-3} and
 10^{21} cm^{-3}
11. Method of claim 9, characterized by the fact that during one process
step (B), namely vapor deposition of silicon and additional
10 incorporation of germanium and dopant for fabricating the base layer,
carbon is incorporated in a concentration between 10^{18} cm^{-3} and 10^{21}
 cm^{-3} .
12. Method of claim 9, characterized by the fact that during one process
15 step (C), namely discontinuing germanium and dopant and vapor
deposition of silicon for fabricating the emitter layer, carbon is
incorporated in a concentration between 10^{18} cm^{-3} and 10^{21} cm^{-3} , the
change in the lattice thus introduced being less than $5 \cdot 10^{-3}$.
- 20 13. Method according to one of claims 10 to 12, characterized by the fact
that during process steps (A) and (B) or process steps (A) and (C) or
process steps (B) and (C) carbon is incorporated in a concentration
between 10^{18} cm^{-3} and 10^{21} cm^{-3} .
- 25 14. Method according to one or more of the claims 10 to 13, characterized
by the fact that during fabrication of the base layer (3) boron is used as
the dopant in a concentration between $5 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ and 10^{21} cm^{-3} .
- 30 15. Method according to one or more of the claims 10 to 14, characterized
by the fact that fabrication of the epitaxial layer is performed by a CVD
process.

16. Method according to one or more of the claims 10 to 14, characterized by the fact that fabrication of the epitaxial layer is performed by a MBE process.

5

10

15

20

25

30

5 **Abstract**

 The invention relates to a silicon germanium hetero bipolar transistor and a method of fabricating the epitaxial individual layers of a silicon germanium hetero bipolar transistor.

10

 Silicon germanium hetero bipolar transistors thus fabricated have an increased transit frequency, an increase maximum oscillation frequency and/or a reduced noise level depending upon requirements and intended application.

15

 A monocrystalline deposition is performed on a surface of pure silicon in accordance with the desired transistor profile. The silicon germanium hetero bipolar transistor contains an additional electrically inert material. The semiconductor arrangement of silicon germanium hetero bipolar transistors is fabricated by an epitaxy process. A electrically inert material incorporated into the epitaxial layer links fabrication defects and reduces the diffusion of the dopant. Thus, transistors for high frequency applications may be fabricated in two ways: The dopant dose of the base region is increased and/or the width of the base is reduced.

20

Translation

PATENT COOPERATION TREATY

PCT

INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT

(PCT Article 36 and Rule 70)

Applicant's or agent's file reference IHP.095.PCT	FOR FURTHER ACTION See Notification of Transmittal of International Preliminary Examination Report (Form PCT/IPEA/416)	
International application No. PCT/DE97/02908	International filing date (day/month/year) 08 December 1997 (08.12.1997)	Priority date (day/month/year) 09 December 1996 (09.12.1996)
International Patent Classification (IPC) or national classification and IPC H01L 29/737		
Applicant INSTITUT FÜR HALBLEITERPHYSIK FRANKFURT (ODER) GMBH		

1. This international preliminary examination report has been prepared by this International Preliminary Examining Authority and is transmitted to the applicant according to Article 36.

2. This REPORT consists of a total of 4 sheets, including this cover sheet.

☒ This report is also accompanied by ANNEXES, i.e., sheets of the description, claims and/or drawings which have been amended and are the basis for this report and/or sheets containing rectifications made before this Authority (see Rule 70.16 and Section 607 of the Administrative Instructions under the PCT).

These annexes consist of a total of 14 sheets.

3. This report contains indications relating to the following items:

- I ☒ Basis of the report
- II ☐ Priority
- III ☐ Non-establishment of opinion with regard to novelty, inventive step and industrial applicability
- IV ☐ Lack of unity of invention
- V ☒ Reasoned statement under Article 35(2) with regard to novelty, inventive step or industrial applicability; citations and explanations supporting such statement
- VI ☐ Certain documents cited
- VII ☐ Certain defects in the international application
- VIII ☐ Certain observations on the international application

RECEIVED
AUG - 9 1999
TC 2800 MAIL ROOM

Date of submission of the demand 01 July 1998 (01.07.1998)	Date of completion of this report 08 March 1999 (08.03.1999)
Name and mailing address of the IPEA/EP European Patent Office D-80298 Munich, Germany Facsimile No. 49-89-2399-4465	Authorized officer Telephone No. 49-89-2399-0

INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT

International application No.

PCT/DE97/02908

I. Basis of the report

1. This report has been drawn on the basis of (*Replacement sheets which have been furnished to the receiving Office in response to an invitation under Article 14 are referred to in this report as "originally filed" and are not annexed to the report since they do not contain amendments.*):

☐ the international application as originally filed.

☒ the description, pages _____, as originally filed,
pages _____, filed with the demand,
pages _____, filed with the letter of _____,
pages 1-9, filed with the letter of 11 January 1999 (11.01.1999).

☒ the claims, Nos. _____, as originally filed,
Nos. _____, as amended under Article 19,
Nos. _____, filed with the demand,
Nos. _____, filed with the letter of _____,
Nos. 1-13, filed with the letter of 11 January 1999 (11.01.1999).

☒ the drawings, sheets/fig 1/2-2/2, as originally filed,
sheets/fig _____, filed with the demand,
sheets/fig _____, filed with the letter of _____,
sheets/fig _____, filed with the letter of _____.

2. The amendments have resulted in the cancellation of:

☐ the description, pages _____

☐ the claims, Nos. _____

☐ the drawings, sheets/fig _____

3. ☒ This report has been established as if (some of) the amendments had not been made, since they have been considered to go beyond the disclosure as filed, as indicated in the Supplemental Box (Rule 70.2(c)).

4. Additional observations, if necessary:

INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT

International application No.
PCT/DE 97/02908

I. Basis of the report

1. This report has been drawn on the basis of *(Replacement sheets which have been furnished to the receiving Office in response to an invitation under Article 14 are referred to in this report as "originally filed" and are not annexed to the report since they do not contain amendments.)*:

3...

The feature "lands less than 2 μm wide" in Claim 1 does not appear to have any base in the original documents and therefore introduces substantive matter which goes beyond the disclosure of the application, thereby contravening PCT Article 34 (2) (b) .

INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT

International application No.

PCT/DE 97/02908

V. Reasoned statement under Article 35(2) with regard to novelty, inventive step or industrial applicability; citations and explanations supporting such statement

1. Statement

Novelty (N)	Claims	3, 9, 13	YES
	Claims	1, 2, 4-8, 10-12	NO
Inventive step (IS)	Claims		YES
	Claims	3, 9, 13	NO
Industrial applicability (IA)	Claims	1-13	YES
	Claims		NO

2. Citations and explanations

The document IEEE Electron Device Letters, Vol. 17, No. 7, July 1996, pages 334 and 337, describes an Si-Ge heterobipolar transistor (and its production process) with an Si collector layer, a doped Si-Ge base layer and an Si emitter layer, wherein C is present in the base and collector layers. The C concentration in the base layer amounts to about $5 \cdot 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ (see page 334 and Fig. 1). As these features coincide with the features of Claim 1, it necessarily follows that the relative change in the grid constant is smaller than $5 \cdot 10^{-3}$ and that defective-point-supported diffusion acceleration is suppressed. According to D1 (see page 335, column 1, lines 17 and 18), this type of transistor withstands high frequencies. Consequently, the subject matter of Claims 1 and 6 is not novel (PCT Article 33(2)).

According to D1, the base layer is doped with B in a concentration of $7 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ and has a C concentration of about $5 \cdot 10^{20} \text{ cm}^{-3}$. The Ge concentration in the base layer lies between 20 and 25% and the Ge concentration curve has a rectangular shape (see Fig. 1). Consequently, the subjects of Claims 2, 4 and 5 are not novel either.

The subjects of the following claims are not novel over D1:

- Claim 7:
The C concentration of the CVD collector layer lies, according to Fig. 1 of D1, between 10^{18} and 10^{20} cm^{-3} .
- Claim 8:
The C concentration in the base layer is about $5 \cdot 10^{20} \text{ cm}^{-3}$.
- Claim 10:
According to D1, C is incorporated into the collector and base layer in a concentration of between 10^{18} and $5 \cdot 10^{20} \text{ cm}^{-3}$.
- Claim 11:
B is present in the base layer in a concentration of $7 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ (see D1, page 334, right-hand column).
- Claim 12:
In D1, a CVD process is used.

Dependent Claims 3, 9 and 13 do not contain any features which, in combination with the features of any claim to which they refer, meet the PCT novelty and inventive step requirements, for the following reasons:

Claims 3, 9 and 13 concern merely minor alterations of the process and device known from D1.

PCT
 WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
 Internationales Büro
 INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE
 INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)



<p>(51) Internationale Patentklassifikation ⁶ : H01L 29/737</p>	A1	<p>(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 98/26457</p> <p>(43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 18. Juni 1998 (18.06.98)</p>						
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 48%;"> <p>(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE97/02908</p> <p>(22) Internationales Anmeldedatum: 8. Dezember 1997 (08.12.97)</p> <p>(30) Prioritätsdaten:</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 33%;">196 52 423.7</td> <td style="width: 33%;">9. Dezember 1996 (09.12.96)</td> <td style="width: 33%;">DE</td> </tr> <tr> <td>197 55 979.4</td> <td>6. Dezember 1997 (06.12.97)</td> <td>DE</td> </tr> </table> <p>(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): INSTITUT FÜR HALBLEITERPHYSIK FRANKFURT (ODER) GMBH [DE/DE]; Walter-Korsing-Strasse 2, D-15230 Frankfurt an der Oder (DE).</p> <p>(72) Erfinder; und</p> <p>(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): LIPPERT, Gunther [DE/DE]; Sophienstrasse 5, D-15230 Frankfurt an der Oder (DE). OSTEN, Hans-Jörg [DE/DE]; Fasanenweg 19, D-15299 Müllrose (DE). HEINEMANN, Bernd [DE/DE]; Schalmeyenweg 29, D-15234 Frankfurt an der Oder (DE).</p> <p>(74) Anwalt: HEITSCH, Wolfgang; Göhlsdorfer Strasse 25g, D-14778 Jeserig (DE).</p> </div> <div style="width: 48%;"> <p>(81) Bestimmungsstaaten: JP, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).</p> <p>Veröffentlicht <i>Mit internationalem Recherchenbericht. Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen Frist. Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen eintreffen.</i></p> </div> </div>			196 52 423.7	9. Dezember 1996 (09.12.96)	DE	197 55 979.4	6. Dezember 1997 (06.12.97)	DE
196 52 423.7	9. Dezember 1996 (09.12.96)	DE						
197 55 979.4	6. Dezember 1997 (06.12.97)	DE						
<p>(54) Title: SILICON-GERMANIUM HETERO-BIPOLAR TRANSISTOR, AND METHOD FOR MAKING ITS VARIOUS EPITACTIV LAYERS</p> <p>(54) Bezeichnung: SILIZIUM-GERMANIUM-HETEROBIPOLARTRANSISTOR UND VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG DER EPITAKTISCHEN EINZELSCHICHTEN EINES DERARTIGEN TRANSISTORS</p> <p>(57) Abstract</p> <div style="display: flex;"> <div style="width: 45%;"> <p>The present invention pertains to the silicon-germanium hetero-bipolar transistors having a higher transition frequency, a higher maximal oscillation frequency and/or a lower noise level, depending on the action-effects and the uses. On a surface made exclusively of silicon, a monocrystalline separation is operated taking into account the transistor profile desired. The silicon-germanium hetero-bipolar transistor contains an additional electrically active material. The semiconductor device is made from silicon-germanium hetero-bipolar transistors according to the epitaxy method. Inserting an electrically inactive material into the epitaxial layer limits the manufacturing defects and reduces the dopant scattering. This enables high frequency transistors to be manufactured on two ways: increasing the dopant dose in the base area and/or reducing the base width.</p> </div> <div style="width: 50%; text-align: center;"> </div> </div>								

LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidshan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	ML	Mali	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	MN	Mongolei	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MR	Mauritanien	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MX	Mexiko	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	PL	Polen		
CM	Kamerun	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CN	China	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CU	Kuba	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
CZ	Tschechische Republik	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DE	Deutschland	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
DK	Dänemark	LR	Liberia	SG	Singapur		
EE	Estland						

Silizium-Germanium-Heterobipolartransistor und Verfahren zur Herstellung der
5 **epitaktischen Einzelschichten eines derartigen Transistors**

Die Erfindung bezieht sich auf einen Silizium-Germanium-Heterobipolartransistor und ein Verfahren zur Herstellung der epitaktischen Einzelschichten von einem Silizium-Germanium-Heterobipolartransistor.

10

Neben der Verwendung von Galliumarsenid zur Herstellung von Höchstfrequenztransistoren finden auch Silizium-Germanium-Heterobipolartransistoren in hochfrequenten Bereichen infolge der geringeren Herstellungskosten zunehmend Anwendung. Solche Transistoren bestehen meist aus einer Schichtenfolge Silizium-Kollektorschicht, p-dotierte Silizium-
15 Germanium-Basisschicht und Emitterschicht.

Die deutsche Offenlegungsschrift DE 43 01 333 A1 beschreibt ein Verfahren zur Herstellung integrierter Silizium-Germanium-Heterobipolartransistoren, bei dem eine Kollektorschicht, eine Basisschicht, eine Emitterschicht und eine Emitteranschlußschicht mittels eines einzigen unterbrechungsfreien Prozesses abgeschieden und gleichzeitig dotiert werden. Dieses
20 Verfahren zur Herstellung hochfrequenztauglicher Transistoren hat den Nachteil, daß eine weitere Erhöhung der Dotierung der Basis mit Fremdatomen eine bei entsprechender Temperatur stattfindende Dotandenausdiffusion, d. h. eine Verbreiterung des Basisgebiets zur Folge hätte. Eine Dotandenausdiffusion hat einerseits eine nichtkonstante Transistorfertigung und andererseits eine Verringerung der Kollektor- und Emitterströme zur Folge. Somit ist eine
25 Verbesserung der Hochfrequenzeigenschaften von Transistoren auf diesem Wege nicht

möglich. Ebenfalls wird durch die Verbreiterung der dotierten Gebiete eine weitere Strukturverbreiterung begrenzt.

Die japanische Patentanmeldung JP 5 102 177 beinhaltet einen Silizium-Germanium-Heterobipolartransistor, dessen Basis mit 5% Kohlenstoff zur Kompensation der durch
5 Germanium eingebrachten mechanischen Spannungen versetzt ist. Solche hohen Kohlenstoffkonzentrationen führen jedoch zu einer starken lokalen Gitterdeformation, die unter anderem die HF-Tauglichkeit der Transistoren einschränkt.

In der Patentschrift US 5,378,901 ist ein Siliziumkarbidtransistor offenbart, bei dem als Basis-, Kollektor- und Emittmaterial Siliziumkarbid verwendet wird. Die hohen
10 Herstellungstemperaturen verhindern die Integration in hochfrequenztaugliche Schaltungen.

Aufgabe der Erfindung ist es, einen Silizium-Germanium-Heterobipolartransistor vorzuschlagen, bei dem die Ausdiffusion des Dotanden des Basisgebiets um mehr als 50% gegenüber herkömmlichen Silizium-Germanium-Heterobipolartransistoren reduziert wird.
15 Weiterhin ist es Aufgabe der Erfindung, an sich bekannte Verfahren zur Herstellung der epitaktischen Einzelschichten für einen solchen Silizium-Germanium-Heterobipolartransistor mit einer Silizium-Kollektorschicht, einer dotierten Silizium-Germanium-Basissschicht und einer Silizium-Emitterschicht so auszugestalten, daß die üblichen Beschränkungen und hohen Anforderungen für nachfolgende Prozesse verringert werden. Dies betrifft insbesondere die
20 Implantationsdosis und die Temperatur-Zeit-Belastung der epitaktischen Schicht. Derart hergestellte Silizium-Germanium-Heterobipolartransistoren besitzen eine erhöhte Transitfrequenz, eine erhöhte maximale Schwingfrequenz und/oder ein verringertes Rauschmaß je nach Anforderungen und Einsatzzweck.

Weiterhin ist es Aufgabe der Erfindung, die Borausdiffusion aus der Silizium-Germanium-Schicht aufgrund punkdefektgestützter Diffusionsbeschleunigung zu unterbinden, um im Skalierungsbereich von 0,4 μm Stegbreite und kleiner, HF-Eigenschaften ohne Verluste zu erhalten. Dadurch sollen im Vergleich zu größeren Emitterflächen gleiche Transit- und
5 maximale Schwingfrequenzen erreicht werden.

Diese Aufgabenstellung wird erfindungsgemäß durch die nachfolgende Erfindungsdarlegung gelöst.

Auf eine reine Siliziumoberfläche findet eine einkristalline Abscheidung entsprechend dem
10 gewünschten Transistorprofil statt. Der erfindungsgemäße Silizium-Germanium-Heterobipolartransistor enthält in mindestens einer der drei Einzelschichten des Transistors, nämlich der Emitterschicht oder der Basisschicht oder der Kollektorschicht, in einer Konzentration zwischen 10^{18} cm^{-3} und 10^{21} cm^{-3} ein zusätzliches, elektrisch nicht aktives Material, vorzugsweise ein Element der vierten Hauptgruppe. Hergestellt wird die
15 Halbleiteranordnung von Silizium-Germanium-Heterobipolartransistoren mittels Epitaxieverfahren, z. B. durch Gasphasenepitaxie oder Molekularstrahlepitaxie. Durch die der Epitaxie nachfolgenden technologischen Verfahrensschritte kommt es zu Defekten, z. B. Zwischengitteratomen im Halbleiterkristall, die eine Diffusion von Gitterfremdatomen, z. B. Dotanden, begünstigen. Ein wie bereits ausgeführtes, in die Epitaxieschicht eingebrachtes,
20 elektrisch nicht aktives Material bindet diese Defekte und verringert die Diffusion des Dotanden. Die durch das Einbringen eines elektrisch nicht aktiven Materials, vorzugsweise Kohlenstoff, hervorgerufene Gitteränderung ist dabei kleiner als $5 \cdot 10^{-3}$. Die Ausdiffusion des Dotanden verringert sich, was eine Verbreiterung des Basisgebiets einschränkt. Damit lassen sich hochfrequenztaugliche Transistoren auf zwei Wegen herstellen: Die Dotierungsdosis des

- Basisgebiets wird erhöht und/oder die Basisbreite wird verringert. In jedem der möglichen Fälle erhöht sich die Konzentration des Dotanden im Basisgebiet des Transistors auf einen Wert zwischen $5 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ und 10^{21} cm^{-3} bei Verwendung von Bor als Dotand. Damit verringert sich der Widerstand der inneren Basis. Ausgangspunkt für erfindungsgemäßes
- 5 Verfahren ist die übliche Herstellung eines vorbehandelten Silizium-Substrats. Das Verfahren ist durch folgende Verfahrensschritte gekennzeichnet: Zuerst wird Silizium zur Herstellung der Kollektorschicht aufgedampft. Anschließend wird beim weiteren Siliziumaufdampfen zusätzlich Germanium eingebracht und mittels Gitterfremdatomen dotiert. Als Dotand findet vorzugsweise Bor Verwendung. Durch diesen Verfahrensschritt wird die Basis hergestellt.
- 10 Nach dem Abschalten des Zuflusses von Germanium und dem Dotierstoff wird die Emitterschicht durch weiteres Aufdampfen von Silizium hergestellt.
- Während mindestens einem der bisher aufgeführten Verfahrensschritte wird ein elektrisch nicht aktives Material, vorzugsweise Kohlenstoff, in einer Konzentration zwischen 10^{18} cm^{-3} und 10^{21} cm^{-3} während der Herstellung der epitaktischen Schicht hinzugefügt, wobei die
- 15 dadurch eingebrachte Gitteränderung kleiner als $5 \cdot 10^{-3}$ infolge der geringen Konzentration des elektrisch nicht aktiven Materials ist. Geringe zusätzliche Gitterverspannung bedeutet keine zusätzliche Quelle von möglichen Gitterdefekten. Zur Herstellung der epitaktischen Schicht finden CVD-Verfahren oder MBE-Verfahren Anwendung. Nach der Epitaxie findet die übliche Weiterprozessierung bis zur Herstellung des endgültigen erfindungsgemäßen
- 20 Silizium-Germanium-Heterobipolartransistors statt. Das Produkt aus Germaniumkonzentration in der Basisschicht und Breite der Basisschicht von Kollektor bis Emitter beträgt bei erfindungsgemäßem Silizium-Germanium-Heterobipolartransistor zwischen 50 Atomprozent nm und 2000 Atomprozent nm. Die Breite der Basisschicht von Kollektor bis Emitter liegt etwa zwischen 5 nm und 60 nm, vorzugsweise zwischen 35 nm und 40 nm.

Die Konzentration des Germaniums in der Basisschicht liegt etwa zwischen 8% und 30%, vorzugsweise zwischen 20% und 28%.

Die Merkmale der Erfindung gehen außer aus den Ansprüchen auch aus der Beschreibung und
5 den Zeichnungen hervor, wobei die einzelnen Merkmale jeweils für sich allein oder zu mehreren in Form von Unterkombinationen schutzfähige Ausführungen darstellen, für die hier Schutz beansprucht wird. Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Zeichnungen dargestellt und werden im folgenden näher erläutert. In den Zeichnungen zeigen:

- 10 Fig. 1 schematischer Schichtaufbau eines Silizium-Germanium-Heterobipolartransistors
- Fig. 2 Stufen des Verfahrens zur Herstellung der epitaktischen Einzelschichten für einen Silizium-Germanium-Heterobipolartransistor
- Fig. 3 schematischer Schnitt durch einen Silizium-Germanium-Heterobipolartransistor
- 15 Fig. 4, 5, 6 Konzentrationsverläufe von Germanium in Silizium-Germanium-Heterobipolartransistoren

In Fig. 1 ist der Schichtaufbau eines erfindungsgemäßen Silizium-Germanium-Heterobipolartransistors, bestehend aus einem dotierten Silizium-Substrat 1, einer undotierten Silizium-Kohlenstoff-Kollektorschicht 2, einer dotierten Silizium-Germanium-Kohlenstoff-Basisschicht 3 und einer undotierten Silizium-Kohlenstoff-Emitterschicht 4, dargestellt. Der
20 gesamte Schichtaufbau des Transistors inklusive Dotierung des Basisgebiets mit Bor wird mittels Molekularstrahlepitaxie hergestellt.

Gleichzeitig wird bei der Epitaxie - in diesem Ausführungsbeispiel - während der Herstellung aller drei Einzelschichten, der Kollektorschicht, der Basisschicht und der Emitterschicht, Kohlenstoff in einer Konzentration zwischen 10^{18} cm^{-3} und 10^{21} cm^{-3} zugegeben. Dies entspricht einer Kohlenstoffkonzentration zwischen 0,0015% und 1,5%. Dadurch wird eine mögliche Bordiffusion signifikant verringert, so daß die Dotandenausdiffusionsgebiete 5 im Vergleich zu herkömmlichen Transistoren dieses Typs verkleinert werden. Durch erfindungsgemäße Einfügung von Kohlenstoff verringert sich die Diffusionslänge von Bor um mehr als 50% gegenüber der Diffusionslänge, die ohne Hinzufügung von Kohlenstoff auftritt. Es kommt zur Ausbildung eines sehr steilen Borprofiles. Die dadurch verringerte Basisweite hat eine geringere Basislaufzeit zur Folge. Dies ist gleichbedeutend mit einer Erhöhung der Transitfrequenz und der Erhöhung der maximalen Schwingfrequenz bzw. einem verringerten Rauschmaß des erfindungsgemäßen Transistors.

Eine weitere Verbesserung der Hochfrequenztauglichkeit erfindungsgemäßen Silizium-Germanium-Heterobipolartransistors wird durch Erhöhung der Borkonzentration zwischen $5 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ und 10^{21} cm^{-3} in der Basisschicht 3 erreicht.

Zur Herstellung eines solchen Silizium-Germanium-Heterobipolartransistors werden folgende in Fig. 2 dargestellte Verfahrensschritte durchgeführt: Vor dem erfindungsgemäßen Teil des Verfahrens wird ein vorbehandeltes Silizium-Substrat in einem Verfahrensschritt A_0 üblicherweise hergestellt. Daran schließen sich die Schritte

- A Siliziumaufdampfen zur Herstellung der Kollektorschicht,
- B Siliziumaufdampfen und zusätzliches Einbringen von Germanium und Dotanden zur Herstellung der Basisschicht und

C Abschalten von Germanium und Dotierstoff und Siliziumaufdampfen zur
Herstellung der Emitterschicht

an, wobei während mindestens einem der Verfahrensschritte A bis C Kohlenstoff in einer
Konzentration zwischen 10^{18} cm^{-3} und 10^{21} cm^{-3} eingebaut wird und die dadurch
5 eingebrachte Gitteränderung kleiner als $5 \cdot 10^{-3}$ ist.

Nach der Epitaxie findet eine übliche Weiterprozessierung D statt bis zur Herstellung eines
erfindungsgemäßen Silizium-Germanium-Heterobipolartransistors.

Fig. 3 zeigt einen schematischen Schnitt durch einen derart hergestellten Silizium-
10 Germanium-Heterobipolartransistor. Auf einem hochdotierten Subtrat 31 aus Silizium sind
durch Epitaxie der undotierte Silizium-Kohlenstoff-Kollektor 32, der undotierte Silizium-
Kohlenstoff-Emitter 33 und die mit Bor in einer Konzentration zwischen $5 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ und
 10^{21} cm^{-3} dotierte Basis 34 aus Silizium, Germanium und Kohlenstoff aufgewachsen.
Weiterhin beinhaltet die Figur die entsprechenden Kontaktgebiete 35 sowie ein
15 Implantgebiet 36. Die Konzentration des Kohlenstoffs in der epitaktischen Schicht beträgt
zwischen 10^{18} cm^{-3} und 10^{21} cm^{-3} .

Die Figuren 4 bis 6 zeigen Konzentrationsverläufe von Germanium im Silizium
erfindungsgemäßer Silizium-Germanium-Heterobipolartransistoren. Die Verläufe haben eine
20 rechteckige, dreieckige oder trapezartige Form. In allen Diagrammen ist auf der Abszisse der
Basisbereich durch die Werte x_1 und x_2 begrenzt. Die Ordinate stellt den prozentualen
Verlauf der Konzentration des Germaniums dar.

Beim Transistor mit rechteckförmigem Germaniumkonzentrationsverlauf nach Fig. 4 beträgt die Breite der Basisschicht 30 nm. Die Konzentration des Germaniums in der Basisschicht beträgt etwa konstant 22%. Durch dieses Transistorprofil werden bevorzugt hohe Stromverstärkungen und gute dynamische Eigenschaften erreicht.

5

Beim Transistor mit dreieckförmigem Germaniumkonzentrationsverlauf nach Fig. 5 beträgt die Breite der Basisschicht 40 nm. Die Konzentration des Germaniums in der Basisschicht beträgt in der Mitte der Basisschicht, wo sie ihren Maximalwert erreicht, etwa 26%. Dieses Transistorprofil ermöglicht die Einstellung sehr hoher Early-Spannungen. Des weiteren
10 gestattet dieses Transistorprofil die Einprägung eines Driftfeldes, um die Basislaufzeit der Minoritätsträger zu verringern.

Beim Transistor mit trapezförmigem Germaniumkonzentrationsverlauf nach Fig. 6 beträgt die Breite der Basisschicht 35 nm. Die Konzentration des Germaniums in der Basisschicht steigt
15 von der Kollektor- bzw. Emmitterseite des Transistor linear von etwa 10% auf 22% an. In diesem Ausführungsbeispiel werden durch das Transistorprofil sowohl eine hohe Stromverstärkung als auch eine hohe Early-Spannung, verbunden mit einem Driftfeld, zur Verringerung der Basislaufzeit erreicht.

20 Bei zunehmender Skalierung wird eine Verbreiterung der Kontaktgebiete durch die Verhinderung der Borausdiffusion durch Kohlenstoff unterbunden, so daß im Skalierungsbereich von 0,4 µm Stegbreite und kleiner HF-Eigenschaften ohne Verluste erhalten bleiben. Auch bei hier geringen Strömen werden im Vergleich zu größeren Strukturen gleiche Transit- und Maximalfrequenzen erreicht.

In der vorliegenden Erfindung wurde anhand konkreter Ausführungsbeispiele ein Silizium-Germanium-Heterobipolartransistor sowie ein Verfahren zur Herstellung der epitaktischen Einzelschichten eines solchen Transistors erläutert. Es sei aber vermerkt, daß die vorliegende

5 Erfindung nicht auf die Einzelheiten der Beschreibung in den Ausführungsbeispielen eingeschränkt ist, da im Rahmen der Patentansprüche Änderungen und Abwandlungen beansprucht werden.

Patentansprüche

- 5 1. Silizium-Germanium-Heterobipolartransistor mit einer Silizium-Kollektorschicht, einer dotierten Silizium-Germanium-Basisschicht und einer Silizium-Emitterschicht, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein zusätzliches, elektrisch nicht aktives Material, vorzugsweise ein Element der vierten Hauptgruppe, in mindestens einer der drei Einzelschichten des Transistors, nämlich der Emitterschicht und/oder der Basisschicht, und/oder der Kollektorschicht, in einer Konzentration zwischen 10^{18} cm^{-3} und 10^{21} cm^{-3} eingebaut ist und die dadurch eingebrachte Gitteränderung kleiner $5 \cdot 10^{-3}$ ist.
- 10 2. Silizium-Germanium-Heterobipolartransistor nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß als elektrisch nicht aktives Material Kohlenstoff Verwendung
- 15 findet.
3. Silizium-Germanium-Heterobipolartransistor nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Basisschicht mit Bor dotiert ist und bei einer Konzentration des Dotanden im Basisgebiet zwischen $5 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ und 10^{21} cm^{-3} in der
- 20 Epitaxieschicht eine Kohlenstoffkonzentration zwischen 10^{18} cm^{-3} und 10^{21} cm^{-3} vorliegt und dabei die Defektdichte des Transistors kleiner als 10^4 cm^{-2} ist.

4. Silizium-Germanium-Heterobipolartransistor mit einer Silizium-Kollektorschicht, einer dotierten Silizium-Germanium-Basisschicht und einer Silizium-Emitterschicht **dadurch gekennzeichnet**, daß ein zusätzliches, elektrisch nicht aktives Material, vorzugsweise ein Element der vierten Hauptgruppe, in mindestens einer der drei Einzelschichten des Transistors, nämlich der Emitterschicht und/oder der Basisschicht und/oder der Kollektorschicht, in einer Konzentration zwischen 10^{18} cm^{-3} und 10^{21} cm^{-3} eingebaut ist, die dadurch eingebrachte Gitteränderung kleiner $5 \cdot 10^{-3}$ ist und das Produkt aus Germaniumkonzentration in der Basisschicht und Breite der Basisschicht von Kollektor bis Emitter zwischen 50 Atomprozent nm und 2000 Atomprozent nm liegt.
5. Silizium-Germanium-Heterobipolartransistor nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Breite der Basisschicht von Kollektor bis Emitter zwischen 5 nm und 60 nm, vorzugsweise zwischen 35 nm und 40 nm liegt.
6. Silizium-Germanium-Heterobipolartransistor nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Konzentration von Germanium in der Basisschicht zwischen 8% und 30%, vorzugsweise zwischen 20% und 28% liegt.
7. Silizium-Germanium-Heterobipolartransistor nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Germaniumkonzentrationsverlauf in der Basisschicht der Form eines Rechtecks, eines Dreiecks oder eines Trapezes entspricht.

8. Silizium-Germanium-Heterobipolartransistor nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Silizium-Germanium-Basisschicht mit Bor dotiert ist und die Borkonzentration zwischen $5 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ und 10^{21} cm^{-3} liegt und die Konzentration des eingebauten Kohlenstoffs als zusätzliches, elektrisch nicht aktives Material kleiner als $5 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ist.
9. Verfahren zur Herstellung der epitaktischen Einzelschichten für einen im Anspruch 1 gekennzeichneten Silizium-Germanium-Heterobipolartransistor mit einer Silizium-Kollektorschicht, einer dotierten Silizium-Germanium-Basisschicht und einer Silizium-Emitterschicht, **dadurch gekennzeichnet**, daß während der Herstellung von Einzelschichten, nämlich Emitterschicht (4), Basisschicht (3) und Kollektorschicht (2), in mindestens eine dieser Schichten ein zusätzliches, elektrisch nicht aktives Material, vorzugsweise ein Element der vierten Hauptgruppe, in einer Konzentration zwischen 10^{18} cm^{-3} und 10^{21} cm^{-3} beigelegt wird und gleichzeitig die Basisschicht mittels Fremdatomen dotiert wird, wobei die dadurch eingebrachte Gitteränderung kleiner $5 \cdot 10^{-3}$ ist.
10. Verfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, daß bei einem Verfahrensschritt (A), nämlich Siliziumaufdampfen zur Herstellung der Kollektorschicht, Kohlenstoff in einer Konzentration zwischen 10^{18} cm^{-3} und 10^{21} cm^{-3} eingebaut wird.

11. Verfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, daß bei einem Verfahrensschritt (B), nämlich Siliziumaufdampfen und zusätzliches Einbringen von Germanium und Dotanden zur Herstellung der Basisschicht, Kohlenstoff in einer Konzentration zwischen 10^{18} cm^{-3} und 10^{21} cm^{-3} eingebaut wird.
- 5
12. Verfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, daß bei einem Verfahrensschritt (C), nämlich Abschalten von Germanium und Dotierstoff und Siliziumaufdampfen zur Herstellung der Emitterschicht, Kohlenstoff in einer Konzentration zwischen 10^{18} cm^{-3} und 10^{21} cm^{-3} eingebaut wird, wobei die dadurch
- 10 eingebraachte Gitteränderung kleiner $5 \cdot 10^{-3}$ ist.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 12, **dadurch gekennzeichnet**, daß Kohlenstoff in einer Konzentration zwischen 10^{18} cm^{-3} und 10^{21} cm^{-3} bei den Verfahrensschritten (A) und (B) oder den Verfahrensschritten (A) und (C) oder den
- 15 Verfahrensschritten (B) und (C) oder den Verfahrensschritten (A) und (B) und (C) eingebaut wird.
14. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 10 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, daß bei der Herstellung der Basisschicht (3) als Dotand Bor in einer
- 20 Konzentration zwischen $5 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ und 10^{21} cm^{-3} Verwendung findet.
15. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 10 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Herstellung der epitaktischen Schicht im CVD-Verfahren durchgeführt wird.

16. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 10 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Herstellung der epitaktischen Schicht im MBE-Verfahren durchgeführt wird.

1/2

